

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DE EDIFÍCIOS

**Aplicação à Avaliação de Risco de Condensações
Internas**

ANA LUÍSA ALVES DA CUNHA

Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

JUNHO DE 2009

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2008/2009

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais, ao meu Irmão e ao Carlos

“O prazer no trabalho aperfeiçoa a obra”

Aristóteles

AGRADECIMENTOS

Ao concluir o presente trabalho gostaria de agradecer a todos aqueles que, de alguma forma, directa ou indirectamente, contribuíram para a sua realização.

Ao Professor Nuno Ramos agradeço a disponibilidade e apoio sempre demonstrados ao longo da elaboração deste trabalho, bem como todos os conhecimentos transmitidos.

À Professora Madalena e à Paula, agradeço a amizade e o auxílio prestado sempre que necessário.

À Isabel e à Carla agradeço a amizade e o apoio sempre demonstrados.

Agradeço aos meus pais e ao meu irmão por todo o amor, carinho e compreensão e por tudo o que sempre me transmitiram.

Ao meu namorado e melhor amigo Carlos, agradeço pela força que sempre me transmitiu. Agradeço pela paciência, carinho e amor sempre demonstrados e por partilhar das minhas preocupações durante todo este tempo.

RESUMO

A qualidade da envolvente dos edifícios é, nos dias de hoje, uma preocupação crescente, nomeadamente no que diz respeito ao comportamento higrotérmico. Se por um lado, essa preocupação leva ao aumento da eficiência energética dos edifícios, através do aumento tanto da espessura de isolamento térmico como da estanqueidade e impermeabilidade dos elementos construtivos, por outro, se aspectos tão importantes como a ventilação forem descurados, poderemos estar a potenciar o aumento da humidade no interior dos edifícios.

Deste modo, a condensação de vapor de água é uma patologia típica dos edifícios construídos actualmente.

Na tentativa de estudar o comportamento de determinados elementos construtivos face ao problema das condensações internas, procedeu-se à utilização do programa de cálculo automático CONDENA 13788 que, seguindo o método preconizado pela norma EN ISO 13788, permite quantificar o fluxo condensado acumulado no interior de um elemento de construção, avaliando assim a probabilidade de ocorrência de condensações internas e da sua evaporação.

Neste sentido, ao longo do presente trabalho procedeu-se à execução de um elevado número de simulações numéricas, variando e combinando diferentes parâmetros, designadamente o tipo e espessura de isolamento térmico da solução construtiva, a localização geográfica e as condições higrotérmicas interiores, procurando compreender o comportamento dos diferentes elementos construtivos face à ocorrência de condensações no seu interior, e perceber a influência dos diversos factores intervenientes.

Nas situações em que se registou a ocorrência de condensações internas, procedeu-se ao dimensionamento da barreira pára-vapor a colocar, de modo a eliminar por completo as condensações no interior do elemento.

Para uma rápida interpretação dos resultados obtidos, é apresentada para cada elemento construtivo uma matriz que evidencia, dependendo da localização, a conjugação das condições higrotérmicas interiores, do tipo de isolamento térmico e respectiva espessura que conduz a um aumento do risco de condensações internas.

Do estudo realizado foi possível igualmente obter o mapeamento do risco de condensações internas em Portugal, para uma situação de higrometria variável e para uma situação de higrometria constante.

PALAVRAS-CHAVE: Comportamento Higrotérmico, Condensações Internas, Simulação Numérica, Análise de Risco, Mapeamento do Risco.

ABSTRACT

The quality of the buildings' envelope is today a growing concern, particularly with regard to their hygrothermic behaviour. If, on the one hand, this concern leads to an increase in the energy efficiency of the buildings, by increasing both the thickness of thermal insulation and the tightness and impermeability of the building elements, on the other hand, if something as important as the ventilation is overlooked, we may be causing the increase of humidity inside the buildings.

Thus, the condensation of water vapor is a typical pathology of the buildings built today.

In an attempt to study the behaviour of certain building elements with regard to the problem of internal condensations, the procedure was to use the automatic estimate software CONDENSE 13788 that, following the method recommended by the EN ISO 13788, allows the quantification of the condensed flow accumulated in a building element's inside, thereby evaluating the probability of occurrence of internal condensations and their evaporation.

Therefore, throughout this work we carried out many numerical simulations, varying and combining different parameters, including the type and thickness of the constructive solution's thermal insulation, the geographical location and the hygrothermal internal conditions, seeking to understand the behaviour of the different building elements with regard to the occurrence of condensations on its inside, and the influence of the several factors involved.

In the situations in which internal condensations occurred, we carried out the dimensioning of the vapor retarder to be placed, so to completely eliminate the condensations inside the element.

For a quick interpretation of the results, is presented for each building element the matrix that shows, depending on location, the combination of the hygrothermal internal conditions, the type of thermal insulation and its thickness, which leads to an increase in the internal condensations risk.

This study also allowed us to obtain the mapping of the internal condensations' risk in Portugal, for a building with varying internal humidity as well as for a building with constant internal humidity.

KEYWORDS: Hygrothermic Behaviour, Internal Condensations, Numerical Simulations, Risk Analysis, Risk Mapping.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. INTERESSE E OBJECTIVOS	2
1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	2
 2. CONDENSAÇÕES INTERNAS	 5
2.1. DESCRIÇÃO GERAL DA PATOLOGIA	5
2.2. DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA	6
2.2.1. MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE VAPOR DE ÁGUA	6
2.2.2. O VAPOR DE ÁGUA NO INTERIOR DOS EDIFÍCIOS	6
2.2.2.1. Origens do vapor existente no interior dos edifícios	6
2.2.2.2. Ventilação dos espaços	7
2.2.2.3. Higrometria dos locais	7
2.3. MÉTODO DE GLASER	8
2.3.1. ASPECTOS GERAIS	8
2.3.2. CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO	8
2.3.3. CÁLCULO ANALÍTICO	8
2.3.4. RESOLUÇÃO GRÁFICA	9
2.4. NORMA EN ISO 13788	10
2.4.1. ASPECTOS GERAIS	10
2.4.2. DADOS NECESSÁRIOS PARA EFECTUAR O CÁLCULO	11
2.4.2.1. Propriedades dos materiais	11
2.4.2.2. Condições climáticas	11
2.4.2.3. Resistências superficiais	13
2.4.3. CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERNAS	13
2.4.3.1. Considerações gerais	13
2.4.3.2. Processo de Cálculo	14

2.5. PROGRAMA CONDENSE 13788	19
2.5.1. ASPECTOS GERAIS	19
2.5.2. DADOS DO PROGRAMA	20
2.5.3. RESULTADOS OBTIDOS	22

3. DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES	25
3.1. ENQUADRAMENTO	25
3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	25
3.2.1. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS	25
3.2.2. ISOLAMENTO TÉRMICO	30
3.2.3. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS	30
3.3. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS EXTERIORES	35
3.4. TEMPERATURA INTERIOR	37
3.5. HIGROMETRIA	40
3.6. RESULTADOS	45

4. ESTUDO DE SENSIBILIDADE	47
4.1. ENQUADRAMENTO	47
4.2. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS EXTERIORES	47
4.3. TEMPERATURA INTERIOR	53
4.4. HIGROMETRIA	56
4.5. IMPLICAÇÕES DA OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS	57
4.6. MATERIAL DE ISOLAMENTO TÉRMICO	59
4.7. ESPESSURA DE ISOLAMENTO TÉRMICO	62
4.8. ELEMENTO CONSTRUTIVO	65
4.8.1. PAREDE SIMPLES COM ISOLAMENTO TÉRMICO PELO INTERIOR	65
4.8.1.1. Simulações condicionantes	65
4.8.1.2. Dimensionamento da barreira pára-vapor	67
4.8.2. PAREDE SIMPLES COM ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR – ETICS	68
4.8.2.1. Simulações condicionantes	68
4.8.3. PAREDE DUPLA COM ISOLAMENTO TÉRMICO PREENCHENDO TOTALMENTE A CAIXA-DE-AIR	70
4.8.3.1. Simulações condicionantes	70
4.8.4. COBERTURA HORIZONTAL EM TERRAÇO COM ISOLAMENTO EXTERIOR	71

4.8.4.1. Simulações condicionantes.....	71
4.8.4.2. Dimensionamento da barreira pára-vapor	73
4.8.5. COBERTURA METÁLICA.....	74
4.8.5.1. Simulações condicionantes.....	74
4.8.5.2. Dimensionamento da barreira pára-vapor	77
4.9. MAPEAMENTO DE RISCO	78

5. CONCLUSÕES

81

5.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

81

5.2. DESENVOLVIMENTO FUTUROS

83

BIBLIOGRAFIA.....

85

ANEXOS

ANEXO A1 – RESULTADOS OBTIDOS DO PROGRAMA CONDENSE 13788 – PAREDE SIMPLES COM ISOLAMENTO TÉRMICO PELO INTERIOR	I.1
ANEXO A2 – RESULTADOS OBTIDOS DO PROGRAMA CONDENSE 13788 – PAREDE SIMPLES COM ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR – ETICS	I.2
ANEXO A3 – RESULTADOS OBTIDOS DO PROGRAMA CONDENSE 13788 – PAREDE DUPLA COM ISOLAMENTO TÉRMICO PREENCHENDO TOTALMENTE A CAIXA-DE-AIR	I.3
ANEXO A4 – RESULTADOS OBTIDOS DO PROGRAMA CONDENSE 13788 – COBERTURA HORIZONTAL EM TERRAÇO COM ISOLAMENTO EXTERIOR.....	I.4
ANEXO A5 – RESULTADOS OBTIDOS DO PROGRAMA CONDENSE 13788 – COBERTURA METÁLICA	I.5

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1 – Representação gráfica do método de Glaser [5]	10
Fig.2.2 – Variação das classes de higrometria de acordo com a temperatura exterior [6].....	13
Fig.2.3 – Difusão de vapor de água num elemento construtivo, sem ocorrência de condensações internas [6]	16
Fig.2.4 – Difusão de vapor de água num elemento construtivo, com ocorrência de condensações internas numa interface [6]	16
Fig.2.5 – Difusão de vapor de água num elemento construtivo, com ocorrência de condensações internas em duas interfaces [6].....	17
Fig.2.6 – Evaporação numa interface do elemento construtivo, quando ocorrem condensações numa interface (esq.) e quando ocorrem condensações em duas interfaces (dir.) [6]	18
Fig.2.7 – Condensação numa interface do elemento construtivo e evaporação noutra [6].....	18
Fig.2.8 – Ecrã de iniciação do programa [CONDENSA 13788].....	20
Fig.2.9 – Menu de selecção das condições exteriores [CONDENSA 13788]	20
Fig.2.10 – Menu de selecção das condições interiores [CONDENSA 13788]	21
Fig.2.11 – Menu de selecção das condições exteriores e respectivos dados climáticos [CONDENSA 13788]	21
Fig.2.12 – Introdução das camadas do elemento construtivo e respectivo esquema. [CONDENSA 13788]	22
Fig.2.13 – Exemplo de resultados do cálculo, sem ocorrência de condensações internas [CONDENSA 13788]	23
Fig.2.14 – Exemplo de resultados do cálculo, com ocorrência de condensações internas e possibilidade de secagem [CONDENSA 13788]	24
Fig.3.1 – Pormenor construtivo da parede simples com isolamento térmico pelo interior	26
Fig.3.2 – Pormenor construtivo da colocação da barreira pára-vapor, na parede simples com isolamento térmico pelo interior	26
Fig.3.3 – Pormenor construtivo da parede com isolamento térmico pelo exterior, ETICS	27
Fig.3.4 – Pormenor esquemático da parede com isolamento térmico pelo exterior, ETICS [16]	27
Fig.3.5 – Pormenor construtivo da parede dupla com isolamento térmico no interior.....	28
Fig.3.6 – Pormenor construtivo da cobertura horizontal em terraço, sem barreira pára-vapor.....	28
Fig.3.7 – Pormenor construtivo da cobertura horizontal em terraço, com barreira pára-vapor.....	29
Fig.3.8 – Pormenor construtivo da cobertura metálica, sem barreira pára-vapor	29
Fig.3.9 – Pormenor construtivo da cobertura metálica, com barreira pára-vapor	30
Fig.3.10 – Ecrã de configuração da localização e respectivos dados climáticos [CONDENSA 13788].....	35

Fig.3.11 – Temperatura exterior das diferentes cidades em simulação [CONDENSA 13788].....	36
Fig.3.12 – Pressão de vapor das diferentes cidades em simulação [CONDENSA 13788]	36
Fig.3.13 – Localização das cidades em simulação e respectivas zonas climáticas de Inverno (esq.) e Verão (dir.), adaptado de [10]	37
Fig.3.14 – Temperatura interior das diferentes cidades – perfil $\theta_i = \theta_e + 3^\circ\text{C}$	38
Fig.3.15 – Temperatura interior das diferentes cidades – perfil θ inverno/ θ verão].....	39
Fig.3.16 – Gráfico com medições de higrometria em edifícios portugueses (a preto) comparadas com as classes sugeridas pela EN ISO 13788 (a vermelho) e por Freitas e Pinto (a azul) [18]...	41
Fig.3.17 – Classe 4 de higrometria, para as diferentes cidades em estudo	43
Fig.3.18 – Classe 3 de higrometria, para as diferentes cidades em estudo	44
Fig.4.1 – Influência das condições climáticas exteriores na ocorrência de condensações internas numa parede simples, com isolamento pelo interior.....	48
Fig.4.2 – Relação entre a temperatura exterior média anual e o fluxo condensado acumulado máximo registado numa parede simples, com isolamento pelo interior.....	48
Fig.4.3 – Influência das condições climáticas exteriores no dimensionamento do revestimento exterior de uma parede ETICS.....	49
Fig.4.4 – Influência da temperatura exterior média anual no dimensionamento do revestimento exterior de uma parede ETICS	50
Fig.4.5 – Influência das condições climáticas exteriores na ocorrência de condensações internas numa cobertura plana tradicional, sem barreira pára-vapor	51
Fig.4.6 – Relação entre a temperatura exterior média anual e o fluxo condensado acumulado máximo, registado numa cobertura plana tradicional, sem barreira pára-vapor	51
Fig.4.7 – Influência das condições climáticas exteriores na ocorrência de condensações internas numa cobertura metálica, sem barreira pára-vapor	52
Fig.4.8 – Relação entre a temperatura exterior média anual e o fluxo condensado acumulado máximo, registado numa cobertura metálica, sem barreira pára-vapor	52
Fig.4.9 – Influência da temperatura interior na ocorrência de condensações internas numa parede simples, com isolamento pelo interior	54
Fig.4.10 – Influência da temperatura interior no dimensionamento do revestimento exterior de uma parede ETICS.....	54
Fig.4.11 – Influência da temperatura interior na ocorrência de condensações internas numa cobertura plana tradicional, sem barreira pára-vapor	55
Fig.4.12 – Influência da temperatura interior na ocorrência de condensações internas numa cobertura metálica, sem barreira pára-vapor	55
Fig.4.13 – Influência da higrometria na ocorrência de condensações internas numa parede simples, com isolamento pelo interior	56

Fig.4.14 – Influência do material de isolamento na ocorrência de condensações internas numa parede simples, com isolamento pelo interior.....	60
Fig.4.15 – Influência do material de isolamento na ocorrência de condensações internas numa parede dupla	60
Fig.4.16 – Influência do material de isolamento na ocorrência de condensações internas numa cobertura plana tradicional, sem barreira pára-vapor.....	61
Fig.4.17 – Influência do material de isolamento na ocorrência de condensações internas numa cobertura metálica, sem barreira pára-vapor.....	61
Fig.4.18 – Influência da espessura de isolamento na ocorrência de condensações internas numa parede simples com isolamento pelo interior	62
Fig.4.19 – Influência da espessura de isolamento térmico no dimensionamento do revestimento exterior de uma parede ETICS	63
Fig.4.20 – Influência da espessura de isolamento térmico na ocorrência de condensações internas numa parede dupla	63
Fig.4.21 – Esquema representativo das simulações efectuadas para a parede simples com isolamento pelo interior, encontrando-se a vermelho as que conduzem a um maior risco de condensações internas	66
Fig.4.22 – Esquema representativo das condições interiores que deverão ser testadas (a vermelho), para a avaliação do risco de condensações internas, quando a parede simples tem lâ mineral como isolamento térmico e espessura $e(UN2)$	66
Fig.4.23 – Dimensionamento da barreira pára-vapor, de modo a não ocorrerem condensações internas	67
Fig.4.24 – Dimensionamento da barreira pára-vapor, de modo a não ocorrerem condensações internas	68
Fig.4.25 – Esquema representativo das simulações efectuadas para a parede ETICS, encontrando-se a vermelho as que conduzem a um maior risco de condensações internas.....	69
Fig.4.26 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente do revestimento exterior máxima	69
Fig.4.27 – Esquema representativo das condições interiores que deverão ser testadas (a vermelho), para a avaliação da espessura da camada de ar de difusão equivalente máxima do revestimento exterior de uma parede ETICS, com espessura de isolamento $e(UN2)$	70
Fig.4.28 – Esquema representativo das simulações efectuadas para a parede dupla, situada na cidade de Bragança, encontrando-se a vermelho a que conduz ao aparecimento de condensações no seu interior.....	70
Fig.4.29 – Esquema representativo das simulações efectuadas para a cobertura plana, sem barreira pára-vapor, encontrando-se a vermelho as que conduzem ao maior risco de condensações internas	72
Fig.4.30 – Esquema representativo das condições interiores que deverão ser testadas (a vermelho), para a avaliação do risco de condensações internas, de uma cobertura plana tradicional, mediante o tipo de isolamento e respectiva espessura.....	72
Fig.4.31 – Pormenor construtivo da cobertura horizontal em terraço, com barreira pára-vapor	73

- Fig.4.32 – Esquema representativo das simulações efectuadas para a cobertura metálica, sem barreira pára-vapor, encontrando-se a vermelho as que conduzem ao maior risco de condensações internas e a laranja as que, apesar de apresentarem um valor de fluxo condensado acumulado menor, não se prevê a sua secagem 75
- Fig.4.33 – Esquema representativo das condições interiores que deverão ser testadas (a vermelho), para a avaliação do risco de condensações internas, de uma cobertura metálica, mediante o tipo de isolamento e respectiva espessura 76
- Fig.4.34 – Pormenor construtivo da cobertura metálica, com barreira pára-vapor..... 77
- Fig.4.35 – Mapeamento do risco resultante, considerando uma higrometria variável..... 78
- Fig.4.36 – Mapeamento do risco resultante relativo a uma parede simples com isolamento pelo interior, considerando um valor de higrometria constante 79

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Estimativa da produção de vapor de água em actividades domésticas [8]	7
Tabela 2.2 – Classes de higrometria [6]	12
Tabela 2.3 – Valores das resistências térmicas superficiais [6]	13
Tabela 3.1 – Propriedades dos materiais	31
Tabela 3.2 – Propriedades das camadas da parede simples	31
Tabela 3.3 – Espessuras do isolamento térmico da parede simples	32
Tabela 3.4 – Propriedades das camadas da parede de ETICS	32
Tabela 3.5 – Espessuras do isolamento térmico da parede de ETICS	32
Tabela 3.6 – Propriedades das camadas da parede dupla	33
Tabela 3.7 – Espessuras do isolamento térmico da parede dupla	33
Tabela 3.8 – Propriedades das camadas da cobertura plana tradicional	34
Tabela 3.9 – Espessuras do isolamento térmico da cobertura plana tradicional	34
Tabela 3.10 – Propriedades das camadas da cobertura metálica	34
Tabela 3.11 – Espessuras do isolamento térmico da cobertura metálica	35
Tabela 3.12 – Temperaturas interiores, para as diferentes cidades – perfil $\theta_i = \theta_e + 3^\circ\text{C}$	40
Tabela 3.13 – Classificação dos edifícios em função da sua higrometria [5]	41
Tabela 3.14 – Valores da temperatura exterior e de higrometria – classe 4	42
Tabela 3.15 – Valores da temperatura exterior e de higrometria – classe 3	43
Tabela 3.16 – Valores da temperatura exterior e da classe 1 de higrometria para Bragança e da classe 2 para o Porto	44
Tabela 4.1 – Alterações a efectuar na classe de higrometria de modo a não ocorrerem condensações superficiais	53
Tabela 4.2 – Alterações a efectuar na classe de higrometria de modo a não ocorrerem condensações superficiais na parede simples com isolamento pelo interior e respectivo fluxo condensado acumulado	57
Tabela 4.3 – Alterações a efectuar na classe de higrometria de modo a não ocorrerem condensações superficiais na parede ETICS e respectivo dimensionamento do revestimento exterior	58
Tabela 4.4 – Alterações a efectuar na classe de higrometria de modo a não ocorrerem condensações superficiais na cobertura horizontal em terraço e respectivo fluxo condensado acumulado	58
Tabela 4.5 – Alterações a efectuar na classe de higrometria de modo a não ocorrerem condensações superficiais na cobertura metálica e respectivo fluxo condensado acumulado	59

Tabela 4.6 – Matriz de influência da espessura de isolamento numa cobertura plana tradicional, sem barreira pára-vapor, perfil de temperatura interior θ inverno/ θ verão e higrometria classe 4	64
Tabela 4.7 – Matriz de influência da espessura de isolamento numa cobertura metálica, sem barreira pára-vapor, perfil de temperatura interior θ inverno/ θ verão, e higrometria classe 4	64
Tabela 4.8 – Dimensionamento da barreira pára-vapor para a cobertura horizontal em terraço	73
Tabela 4.9 – Dimensionamento da barreira pára-vapor para a cobertura metálica	77

SÍMBOLOS

- e – Espessura da camada [m]
- $e (U_{\text{máx}})$ – Espessura de isolamento térmico correspondente ao coeficiente de transmissão térmica máximo [m]
- $e (U_{\text{ref}})$ – Espessura de isolamento térmico correspondente ao coeficiente de transmissão térmica de referência [m]
- $e (U_{\text{N2}})$ – Espessura de isolamento térmico correspondente ao nível de qualidade térmica N2 [m]
- g – Fluxo de difusão de vapor de água [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
- g_c – Fluxo de difusão de vapor de água condensado [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
- g_{ev} – Fluxo de evaporação [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
- Ma – Fluxo condensado acumulado [kg/m^2]
- n – Taxa horária de renovação de ar [h^{-1}]
- P – Pressão instalada [Pa]
- Pe – Permeância ao vapor de água [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$]
- P_{sat} – Pressão de saturação [Pa]
- q – Fluxo de calor por unidade de superfície [W/m^2]
- R – Resistência térmica [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]
- R_d – Resistência à difusão de vapor de água [$\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$]
- R_{se} – Resistência térmica superficial exterior [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]
- R_{si} – Resistência térmica superficial interior [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]
- s_d – Espessura da camada de ar de difusão equivalente [m]
- U – Coeficiente de transmissão térmica [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]
- V – Volume interior [m^3]
- w – Produção de vapor no interior de um local [kg/h]
- Δp – Excesso de pressão parcial de vapor de água em relação ao exterior ($p_i - p_e$) [Pa]
- Δv – Higrometria [g/m^3]
- $\Delta \theta$ – Variação da temperatura [$^\circ\text{C}$]
- θ – Temperatura [$^\circ\text{C}$]
- $\overline{\theta}$ – Valor médio da temperatura [$^\circ\text{C}$]
- λ – Condutibilidade térmica [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]
- μ – Factor de resistência à difusão de vapor de água
- v – Humidade absoluta do ar [kg/m^3]

V_{sat} - Humidade de saturação [kg/m³]

π – Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água [kg/(m.s.Pa)]

π_{ar} - Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do ar [kg/(m.s.Pa)]

$\overline{\varphi_e}$ - Valor médio da humidade relativa do ar

ÍNDICES

i – interior

e – exterior

ABREVIATURAS

MW – Lã mineral

EPS – Poliestireno expandido

XPS – Poliestireno extrudido

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Grande parte das patologias dos edifícios está associada à humidade, podendo esta manifestar-se de diversas formas (condensações superficiais e internas, higroscopicidade, humidade de construção, humidade proveniente da água da chuva, humidade ascensional e fugas nas canalizações) [1]. A humidade afecta aspectos tão importantes e diversos como a durabilidade e aspecto dos elementos construtivos, assim como o conforto dos ocupantes, incluindo a sua saúde e segurança [2].

As condensações assumem grande importância de entre os fenómenos associados à humidade, podendo estas ocorrer na superfície do elemento construtivo (condensações superficiais) ou no interior do mesmo (condensações internas).

A condensação de vapor de água é uma patologia típica dos edifícios construídos actualmente. O aumento da eficiência energética dos edifícios leva à consideração de uma maior espessura de isolamento e ao aumento das características de estanqueidade e impermeabilidade dos elementos, descurando frequentemente aspectos de extrema importância como a correcta ventilação dos espaços. Estes são alguns dos factores que potenciam o aumento da humidade no interior dos edifícios [3].

Ainda que o impacto da ocorrência de condensações (em especial as geradas no interior dos elementos construtivos, uma vez que não provocam, em geral, distúrbios visíveis), não seja tão dramático como, por exemplo, o da fuga de canalizações ou da infiltração de água da chuva que acarretam, na maioria das vezes, estragos avultados, a humidade de condensação poderá, a longo prazo, tornar-se um incómodo considerável [4]. As condensações internas provocam o apodrecimento e consequente degradação dos materiais de construção, afectando igualmente o desempenho térmico dos elementos construtivos, o que poderá até originar o aparecimento de condensações superficiais [3].

Sendo a condensação um problema cada vez mais actual, e causando problemas não só para o edifício mas também para os seus ocupantes, deverá ser tido em conta quer na fase de elaboração do projecto, quer na fase de construção, quer ao longo da vida útil dos edifícios [3].

Assim, assume máxima importância o desenvolvimento de estudos que permitam compreender melhor os fenómenos associados à humidade, de modo a que possam ser definidas regras qualitativas e quantitativas para a concepção e execução dos elementos de construção, face a esta patologia [5].

1.2. INTERESSE E OBJECTIVOS

A crescente preocupação relativamente à qualidade da envolvente dos edifícios e a frequência, cada vez maior, de patologias associadas à humidade, tem motivado o desenvolvimento de diversos estudos na área do comportamento higrotérmico dos edifícios.

Dada a existência de uma norma, EN ISO 13788 [6], que fornece métodos de cálculo, nomeadamente de avaliação do risco de condensações internas, e o posterior surgimento de um programa de cálculo automático que o aplica (CONDENSA 13788 [7]), surge o interesse em estudar o comportamento de diferentes elementos construtivos face ao risco de ocorrência de condensações internas.

Deste modo, o objectivo deste trabalho consiste na simulação de diversos elementos construtivos, variando e combinando diferentes parâmetros, nomeadamente, o tipo e espessura de isolamento térmico da solução construtiva, a localização geográfica, o perfil de temperatura interior e a higrometria do edifício, procurando-se então compreender não só o comportamento dos diferentes elementos de construção face ao risco de condensações no seu interior, mas também, a influência dos diversos factores intervenientes.

A finalidade do presente estudo prende-se então com a obtenção de resultados concretos e viáveis que revelem o comportamento de diversos elementos de construção, face ao risco de condensações internas, e permitam o mapeamento desse mesmo risco em Portugal.

Em suma, os objectivos que se pretendem alcançar com o desenvolvimento deste estudo são:

- Através da simulação numérica de determinados elementos construtivos conhecer o respectivo risco de ocorrência de condensações internas, procedendo à quantificação do fluxo condensado acumulado máximo;
- Em situações em que é previsível o surgimento de condensações no interior dos elementos construtivos, proceder ao dimensionamento de uma barreira pára-vapor de forma a eliminá-las por completo;
- Compreender a influência das condições climáticas exteriores e interiores e da própria constituição do elemento de construção, no problema das condensações internas;
- Por fim, pretende-se obter um mapeamento do risco de ocorrência de condensações internas para Portugal.

1.3. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se organizado em cinco capítulos:

- Capítulo 1: Introdução – Apresentação formal do trabalho, fazendo referência ao contexto temático. São também definidos os objectivos que se pretendem alcançar e a própria estruturação do trabalho.
- Capítulo 2: Condensações internas – Neste capítulo é feita uma breve descrição do fenómeno de condensações internas e da difusão do vapor de água. É igualmente abordado o método de Glaser e a norma EN ISO 13788 [6]. Através de um exemplo de simulação, é descrito o programa de cálculo automático, CONDENSA 13788 [7], utilizado para a execução das diversas simulações.
- Capítulo 3: Descrição das simulações – Este capítulo pretende descrever, pormenorizadamente, os parâmetros a introduzir no programa de cálculo. Inicialmente,

são apresentados os diversos elementos construtivos a simular e as propriedades dos materiais que os constituem. Posteriormente, são apresentadas as condições climáticas exteriores, a temperatura interior e a higrometria.

- Capítulo 4: Estudo de sensibilidade – O capítulo divide-se essencialmente em três partes. Numa fase inicial, é efectuada a análise da influência dos diversos parâmetros intervenientes na avaliação do risco de condensações internas. De seguida, é analisado cada elemento construtivo individualmente, procedendo-se ao dimensionamento de uma barreira pára-vapor, se necessário. Por último, é apresentado o mapeamento do risco de condensações internas em Portugal.
- Capítulo 5: Conclusões – Neste último capítulo, inicialmente são apresentadas as conclusões do trabalho e, por fim, a sugestão de perspectivas de investigação futura.

2

CONDENSAÇÕES INTERNAS

2.1. DESCRIÇÃO GERAL DA PATOLOGIA

A simples presença de pessoas no interior dos edifícios resulta na produção de vapor de água. Esse vapor de água existente no ar exerce uma determinada pressão, que se designa de pressão parcial de vapor de água, podendo esta variar entre 0 (zero) e o valor correspondente ao ponto de saturação, sendo que, neste último caso o ar já não tem mais capacidade de absorver vapor de água, condensando as quantidades em excesso.

Quando um gradiente de pressão parcial de vapor de água é estabelecido entre dois pontos, a sua difusão ocorre do ponto de pressão mais elevada para o ponto de pressão mais baixa, tanto no ar como através dos materiais. Dependendo das características de permeabilidade ao vapor das camadas que este atravessa, a difusão ocorre com maior ou menor dificuldade [2].

No caso dos elementos construtivos da envolvente dos edifícios, uma vez que estes separam ambientes com características distintas, a difusão de vapor de água conduz a uma variação da pressão parcial de vapor ao longo da espessura do elemento. Se em algum ponto do elemento de construção a pressão parcial de vapor instalada igualar a respectiva pressão de saturação, ocorrem condensações, isto é, o transporte que se fazia em fase vapor gera o aparecimento de água líquida. Caso tenham lugar na superfície do elemento são condensações superficiais, se ocorrem no interior do elemento designam-se de condensações internas [2].

A diferença das condições climáticas entre os ambientes interior e exterior dos edifícios é, geralmente, mais elevada durante a estação fria (Inverno), situação em que o fluxo de vapor se verifica do interior para o exterior. Deste modo, a estação de aquecimento será a mais condicionante na concepção dos elementos construtivos face ao fenómeno da difusão de vapor de água [2].

As condensações de vapor de água no interior dos elementos construtivos, geralmente, não se manifestam de forma visível. Contudo, podem originar o apodrecimento e consequente degradação dos materiais de construção, assim como o desempenho térmico dos elementos construtivos poderá ser afectado. O acréscimo do teor de água dos materiais que os constituem, derivado da eventual absorção de água condensada, faz diminuir a resistência térmica dos materiais e, consequentemente dos elementos construtivos em que estão inseridos, o que pode, eventualmente, originar o aparecimento de condensações superficiais [3].

2.2. DIFUSÃO DE VAPOR DE ÁGUA

2.2.1. MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE VAPOR DE ÁGUA

A transferência de humidade em materiais de construção rege-se por mecanismos bastante complexos. Enquanto que na fase líquida o transporte é comandado pela capilaridade, gravidade e o efeito dos gradientes de pressão externos, na fase vapor a difusão e a convecção no interior dos poros condicionam essa mesma transferência [5].

Assim, a transferência de humidade na fase vapor pode efectuar-se das seguintes formas [5]:

- *Difusão de vapor através de uma camada de ar* – a difusão de vapor dá-se através de uma camada de ar imóvel;
- *Difusão de vapor através de materiais porosos* – praticamente o mesmo processo que o anterior, mas neste caso a resistência ao transporte depende da estrutura do material;
- *Convecção* – devido a gradientes de pressão e de temperatura, o vapor de água desloca-se juntamente com o ar.

A transferência de vapor de água através da envolvente dos edifícios poderá então processar-se de distintas formas, tais como [5]:

- Transferência de vapor entre a face interior do elemento construtivo e o ambiente interior;
- Transferência de vapor através dos elementos construtivos, derivada do gradiente de pressão parcial de vapor de água entre as ambiências exterior e interior;
- Transferência de vapor entre a face exterior do elemento construtivo e a atmosfera.

2.2.2. O VAPOR DE ÁGUA NO INTERIOR DOS EDIFÍCIOS

2.2.2.1. Origens do vapor existente no interior dos edifícios

O vapor de água existente no interior dos edifícios resulta de diversos factores, sendo os mais condicionantes os relativos aos utilizadores. A presença de pessoas, animais e plantas no interior dos edifícios resulta numa maior ou menor quantidade de vapor de água produzido, dependendo do número de pessoas, do tempo de permanência e das suas actividades, como por exemplo a preparação de refeições, lavagem e secagem de roupa, entre outras.

Existem contudo outros factores, independentes dos ocupantes, que originam igualmente vapor de água no interior dos edifícios. Exemplo disso é o vapor de água transportado pelo ar exterior que é admitido nos edifícios, o vapor de água libertado pelos diversos materiais por fenómenos de higroscopicidade e o vapor de água que atravessa a envolvente dos edifícios por fenómenos de difusão [2].

Para edifícios de habitação, a norma BS 5925 [8] estima os valores de produção de vapor de água presentes na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Estimativa da produção de vapor de água em actividades domésticas [8].

Actividade	Vapor de água (g/dia)
Cozinhar a electricidade	2000
Cozinhar a gás	3000
Lavagem de loiça	400
Banho (por pessoa)	200
Lavagem de roupa	500
Secagem de roupa no interior de um compartimento (por pessoa)	1500

2.2.2.2. Ventilação dos espaços

A renovação do ar é o meio mais eficaz para garantir a qualidade do ar interior e extrair o excesso de vapor de água existente, afim de controlar os riscos de condensações. Se uma casa, por exemplo, não for devidamente ventilada, o vapor de água que se gera habitualmente pelas actividades já mencionadas poderá gerar humidade, afectando o conforto e até mesmo a saúde dos ocupantes. É, por isso, importante que exista sempre um nível mínimo de ventilação.

O caudal de ventilação ideal resulta de um equilíbrio entre a necessidade de extracção do vapor de água e o inevitável arrefecimento do ambiente interior provocado pela entrada de ar mais frio vindo do exterior [4]. Assim, para Portugal, caracterizado por um clima exterior favorável, é permitida a consideração de valores de renovações horárias de 0,7 a 0,8, sem que as perdas de energia por este processo sejam inaceitáveis [9]. O Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios – RCCTE [10] define 0,6 RPH como o mínimo de renovações horárias.

2.2.2.3. Higrometria dos locais

A higrometria corresponde ao quociente entre a produção de vapor interior e o caudal de renovação de ar, $\frac{\omega}{n.V}$, traduzindo assim o aumento da pressão do vapor de água interior em relação ao exterior e, consequentemente, definindo o gradiente de pressão de vapor a que se encontra submetida a envolvente do local. Assume assim grande importância nos estudos de difusão de vapor através da envolvente dos edifícios apresentando, no entanto, relevantes variações tanto entre diferentes edifícios como ao longo do tempo para um mesmo local.

A norma EN ISO 13788 [6] refere-se à higrometria como sendo o excesso de humidade interior.

Em geral, os edifícios são classificados em função dos valores médios da sua higrometria. No decorrer deste trabalho, são apresentadas propostas de diferentes autores para essa mesma classificação.

2.3. MÉTODO DE GLASER

2.3.1. ASPECTOS GERAIS

A análise teórica da transferência em simultâneo de calor e humidade em meios porosos não saturados e, em particular, em materiais e elementos de construção tem sido alvo de importante investigação. Vários modelos, fundamentados na mecânica dos fluidos, utilizando as leis de difusão de massa (fase líquida – Darcy; fase vapor – Fick) e de difusão de calor (Fourier) foram surgindo, a partir da década de cinquenta. Destes, destaca-se o realizado por Glaser [5].

O método de Glaser é muito utilizado em engenharia civil, particularmente na avaliação do risco de ocorrência de condensações internas, bem como na definição de regras de qualidade, face à difusão de vapor, que devem ser respeitadas pelos elementos construtivos [5].

Este método considera que, se um elemento de construção se encontrar sujeito a um gradiente de pressões e temperaturas, a pressão de saturação será variável de ponto para ponto. Assim, se a “curva” de pressões instaladas intersectar a “curva” de pressões de saturação, ocorrem condensações internas. Caso não se intersectem, então não há risco de ocorrência desta patologia [5].

2.3.2. CONDIÇÕES DE APLICAÇÃO

O método de Glaser baseia-se em hipóteses simplificativas, tais como [5]:

- O transporte de humidade ocorre apenas na fase de vapor, obedecendo à lei de Fick;
- A transferência de calor é apenas por condução;
- O regime é permanente;
- Os materiais são não-higroscópicos;
- Os elementos construtivos são estanques ao ar e têm faces planas e paralelas;
- Os coeficientes de permeabilidade ao vapor de água e de condutibilidade térmica são constantes;
- Não há redistribuição de água condensada.

2.3.3. CÁLCULO ANALÍTICO

A quantificação do fluxo de vapor de água que atravessa um elemento de construção, constituído por materiais homogéneos, de faces planas e paralelas é dada pela lei de Fick:

$$g = \frac{1}{\sum_j \frac{e_j}{\pi_j}} \cdot (P_i - P_e) \quad (2.1)$$

Sendo que:

g – Fluxo de difusão de vapor de água [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]

e_j – Espessura da camada [m]

π_j – Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água [$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$]

P_i, P_e – Pressão parcial de vapor de água no interior e exterior, respectivamente [Pa]

Quanto ao fluxo de calor é dado pela lei de Fourier:

$$q = \frac{1}{\sum_j \frac{e_j}{\lambda_j}} \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (2.2)$$

Em que:

q – Fluxo de calor por unidade de superfície [W/m^2]

λ_j – Condutibilidade térmica [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]

θ_i, θ_e – Temperatura interior e exterior, respectivamente [$^\circ\text{C}$]

Assim, para aplicar o método de Glaser é necessário conhecer alguns parâmetros como as condições climáticas interiores e exteriores ($\theta_i, P_i, \theta_e, P_e$), as propriedades dos materiais constituintes das diferentes camadas e respectivas espessuras (π_j, λ_j, e_j) e as resistências térmicas superficiais ($1/h_i, 1/h_e$).

É possível então, a partir da expressão (2.1) determinar a “curva” das pressões instaladas (P) no elemento. A expressão (2.2) permite determinar a “curva” das temperaturas instaladas nos diferentes pontos do elemento construtivo e, a partir destas e recorrendo ao diagrama psicrométrico, obter a “curva” das pressões de saturação (P_{sat}).

Assim, a eventual zona de ocorrência de condensações internas é determinada tendo em conta as seguintes condições [11]:

- Qualquer que seja o ponto no interior do elemento de construção, $P < P_{\text{sat}}$;
- Uma vez que se admite que não há produção de vapor de água no interior do elemento construtivo, a densidade do fluxo não pode aumentar, ou seja, $g_{\text{saída}} \leq g_{\text{entrada}}$.

2.3.4. RESOLUÇÃO GRÁFICA

A grande vantagem do método de Glaser é que permite facilmente uma resolução gráfica, processando-se nas seguintes fases [5]:

1ª Fase – Representação do elemento construtivo num sistema de eixos ($R_d; P$), em que

$R_{dj} = \sum_j \frac{e_j}{\pi_j}$ é a resistência à difusão e P a pressão de vapor de água;

2ª Fase – Cálculo da “curva” de temperaturas instaladas no elemento construtivo e da “curva” de pressões de saturação, através do diagrama psicrométrico;

3ª Fase – Comparação da “curva” de pressões de saturação com a “curva” de pressões instaladas, gerada pelas condições limite. Se as “curvas” não se intersectarem, não há condensações internas.

4ª Fase – Se a “curva” de pressões de saturação cruzar a “curva” de pressões instaladas, então há condensações internas. Traçam-se as tangentes à “curva” das pressões de saturação a partir dos pontos que definem as pressões instaladas nas suas faces, ficando assim delimitada a zona onde ocorrerão as condensações.

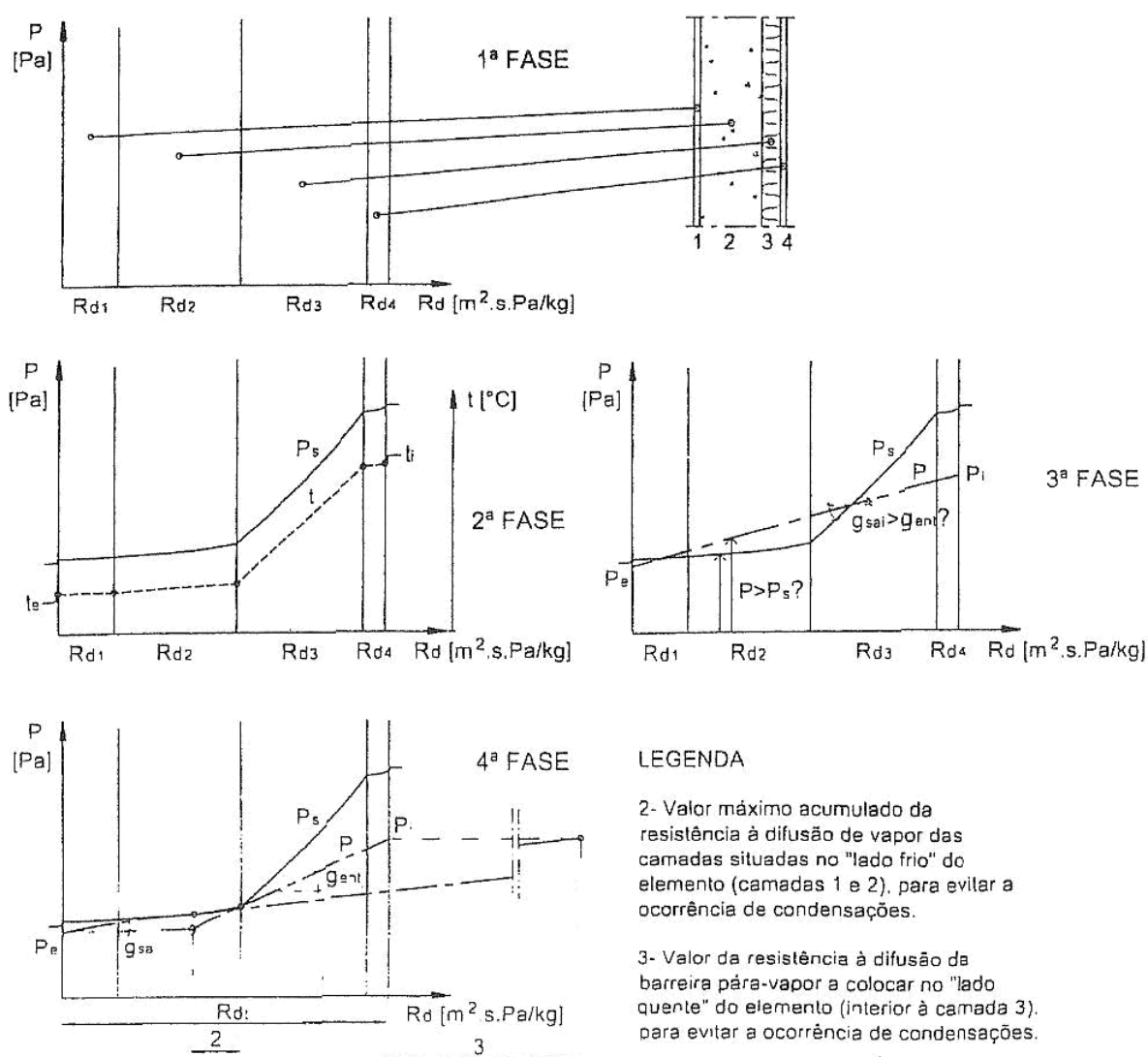


Fig.2.1 – Representação gráfica do método de Glaser [5].

Posteriormente, aplicando a lei de Fick e admitindo que o fluxo condensado é igual à diferença entre os fluxos de entrada e de saída na zona de condensação, é possível então determinar a quantidade de água que se acumula no interior do elemento construtivo.

2.4. NORMA EN ISO 13788

2.4.1. ASPECTOS GERAIS

A norma europeia EN ISO 13788 fornece métodos de cálculo para a avaliação do risco de condensações superficiais e de condensações no interior dos elementos de construção devidas à difusão de vapor de água. Não tendo em conta, porém, aspectos relativos à humidade como a água proveniente do solo, precipitação, humidade de construção e de convecção, a que estão sujeitos os diversos elementos construtivos [6].

O método sugerido pela norma para a avaliação do risco de condensações internas assume que a humidade de construção já secou e não tem em consideração alguns fenómenos físicos como [6]:

- A dependência da condutibilidade térmica no teor de humidade;
- A libertação e absorção do calor latente;
- A variação das propriedades dos materiais com o teor de humidade;
- A sucção capilar e a transferência de humidade no interior dos materiais;
- A movimentação do ar através de fendas ou de espaços de ar;
- A higroscopicidade dos materiais.

As limitações e os erros que poderão advir da utilização deste método, prendem-se então com a não consideração dos aspectos e fenómenos físicos supracitados. De salientar que, desprezando a transferência de humidade na fase líquida, leva a que os fluxos condensados sejam calculados por excesso [6].

2.4.2. DADOS NECESSÁRIOS PARA EFECTUAR O CÁLCULO

2.4.2.1. Propriedades dos materiais

A norma EN ISO 13788 considera a condutibilidade térmica (λ) e o factor de resistência à difusão de vapor de água (μ) como sendo aplicáveis a materiais homogéneos, enquanto que a resistência térmica (R) e a espessura da camada de ar de difusão equivalente (s_d) aos restantes materiais [6].

A selecção dos respectivos valores é remetida para a norma EN 12524 [12] ou para as normas de determinação EN ISO 10456 [13] (caso de λ e R) ou EN ISO 12572 [14] (caso de μ e s_d), conforme se pretende um valor aproximado ou a sua exacta determinação [6].

Alguns materiais, como por exemplo as folhas de metais, são bastante impermeáveis ao vapor de água apresentando portanto um valor infinito do factor de resistência à difusão de vapor de água (μ). No entanto, para efeitos de cálculo é requerido um valor finito de μ , devendo então nestes casos ser adoptado o valor de 100 000 [6].

2.4.2.2. Condições climáticas

A análise dos elementos construtivos deverá ser efectuada para um período de um ano, dividido em 12 períodos, correspondentes aos 12 meses do ano. As condições climáticas exteriores a considerar, aquando da avaliação do risco de condensações internas, deverão ser representativas da localização do edifício em análise e deverão corresponder aos valores médios de cada um dos meses do ano, obtidos de acordo com a norma EN ISO 15927-1 [15].

No caso de se tratar de um elemento construtivo em contacto com o solo, a temperatura exterior a considerar deverá corresponder ao valor médio anual. Quanto à temperatura interior, deverá ser especificada de acordo com o esperado uso do edifício em questão [6].

As condições de humidade exterior poderão ser definidas com recurso a dois parâmetros, humidade absoluta do ar (v_e) ou pressão parcial de vapor de água (p_e). O valor médio da pressão parcial de vapor de água do ambiente exterior e a humidade absoluta do ar poderão ser calculados a partir das equações (2.3) e (2.4), respectivamente [6].

$$\overline{p_e} = \overline{\phi_e} \times p_{sat}(\overline{\theta_e}) \quad (2.3)$$

$$\overline{v_e} = \overline{\varphi_e} \times v_{sat}(\overline{\theta_e}) \quad (2.4)$$

Em que:

$\overline{\varphi_e}$ - Valor médio da humidade relativa do ar

p_{sat} - Pressão de saturação [Pa]

$\overline{\theta_e}$ - Valor médio da temperatura exterior [°C]

v_{sat} - Humidade de saturação [kg/m³]

Tratando-se de um elemento construtivo em contacto com o solo, este deverá ser considerado saturado, apresentando assim uma humidade relativa de 1 ($\varphi=1$) [6].

Segundo a norma EN ISO 13788 [6] a humidade relativa interior poderá ser obtida de uma das seguintes formas:

- Através de uma das expressões (2.5) ou (2.6), devendo os valores Δp e Δv ser de acordo com a utilização esperada do edifício e multiplicados por um factor de segurança de 1,10 para ter em consideração as eventuais imprecisões do método.

$$p_i = p_e + \Delta p \quad (2.5)$$

$$v_i = v_e + \Delta v \quad (2.6)$$

- Quando a humidade relativa interior é conhecida e é mantida constante, por exemplo através de ar condicionado, pode ser dada então por uma constante φ_i , que deverá ser afectada de um factor de 0,05.

De acordo com a referida norma a humidade relativa interior pode ainda ser definida por 5 classes de higrometria. A tabela 2.2 e a figura 2.2 representam então a definição das diferentes classes.

Tabela 2.2 – Classes de higrometria [6].

Classe de Higrometria	Tipo de Edifício
1	Armazéns
2	Escritórios e lojas comerciais
3	Habitações com pouca ocupação
4	Habitações com ocupação elevada, recintos desportivos, cozinhas, cantinas e edifícios aquecidos com aquecedores a gás
5	Edifícios especiais como lavandarias, cervejarias, piscinas

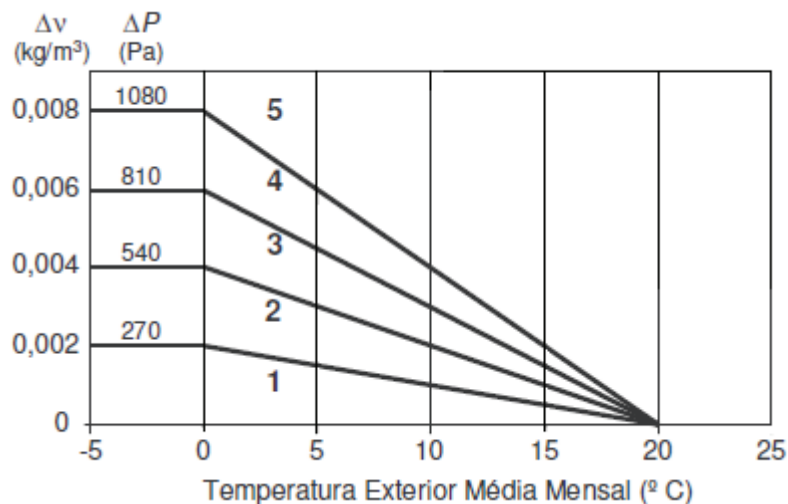


Fig. 2.2 – Variação das classes de higrometria de acordo com a temperatura exterior [6].

Para a avaliação do risco de condensações internas é recomendado o uso dos valores limite superiores de cada classe [6].

2.4.2.3. Resistências superficiais

Os valores das resistências térmicas superficiais exteriores e interiores, R_{se} e R_{si} respectivamente, estabelecidos pela norma EN ISO 13788 [6] são os constantes na tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Valores das resistências térmicas superficiais [6].

	Resistência térmica [m ² ·°C/W]
Resistência térmica superficial exterior, R_{se}	0,04
Resistência térmica superficial interior, R_{si}	
Vidros e caixilhos	0,13
Restantes superfícies interiores	0,25

A norma EN ISO 13788 [6] considera ainda que a resistência ao vapor de água superficial é desprezável.

2.4.3. CÁLCULO DE CONDENSAÇÕES INTERNAS

2.4.3.1. Considerações gerais

A norma EN ISO 13788 fornece um método que permite calcular o balanço anual de humidade assim como a máxima quantidade de fluxo condensado acumulado, considerando que a humidade de construção já secou, como mencionado anteriormente. Este método não deverá ser considerado como uma ferramenta de previsão exacta das quantidades de humidade condensadas e/ou evaporadas. Os

resultados obtidos deverão ser utilizados para, do ponto de vista higrotérmico, comparar diferentes elementos de construção e/ou avaliar os efeitos de eventuais modificações na constituição do elemento [6].

Para calcular o fluxo condensado e a eventual evaporação ao longo de todos os meses do ano, o cálculo será iniciado no primeiro mês em que será previsível a ocorrência de condensações, sendo então utilizados os valores médios mensais das condições climáticas exteriores. Posteriormente, a quantidade de vapor de água condensado acumulado ao longo dos meses em que ocorrem condensações será comparada com a evaporação total durante o resto do ano [6].

O cálculo das condensações internas segundo esta norma baseia-se no método de Glaser, já especificado anteriormente no subcapítulo 2.3. Assim, a quantificação do fluxo de vapor de água que atravessa um elemento de construção e o fluxo de calor são descritos pelas equações referenciadas no método de Glaser, embora a norma as defina com parâmetros diferentes, evidenciados nas equações (2.7) e (2.8) [6].

$$g = \pi_{ar} \frac{\Delta p}{s_d} \quad (2.7)$$

Em que:

g – Fluxo de difusão de vapor de água [kg/(m².s)]

π_{ar} – Coeficiente de permeabilidade ao vapor de água do ar [kg/(m.s.Pa)]

Δp – Excesso de pressão parcial de vapor de água em relação ao exterior ($p_i - p_e$) [Pa]

s_d – Espessura da camada de ar de difusão equivalente [m]

$$q = \lambda \frac{\Delta \theta}{e} = \frac{\Delta \theta}{R} \quad (2.8)$$

Em que:

q – Fluxo de calor por unidade de superfície [W/m²]

λ – Coeficiente de condutibilidade térmica [W/(m.K)]

$\Delta \theta$ – Variação da temperatura ($t_i - t_e$) [°C]

e – Espessura da camada [m]

R – Resistência térmica [m².K/W]

A norma, porém, contém ainda em anexo uma breve referência a outros métodos de cálculo mais avançados.

2.4.3.2. Processo de cálculo

Para iniciar o cálculo de condensações internas num elemento de construção, deverão ser calculadas as resistências térmicas e as espessuras da camada de ar de difusão equivalente de cada camada, do exterior para cada interface n , de acordo com as expressões (2.9) e (2.10) [6].

$$R'_n = R_{se} + \sum_{j=1}^n R_j \quad (2.9)$$

$$s'_{d,n} = \sum_{j=1}^n s_{d,j} \quad (2.10)$$

Posteriormente, através das equações (2.11) e (2.12) deverá ser calculada a resistência térmica do elemento construtivo e a espessura da camada de ar de difusão equivalente [6].

$$R'_T = R_{si} + \sum_{j=1}^N R_j + R_{se} \quad (2.11)$$

$$s'_{d,T} = \sum_{j=1}^N s_{d,j} \quad (2.12)$$

Como descrito anteriormente, a análise deverá iniciar-se pelo primeiro mês em que se registam condensações, que será encontrado por tentativas. Se em nenhum dos meses se verificar a ocorrência de condensações internas termina-se o processo com essa indicação. Se, pelo contrário, se registarem condensações em todos os meses do ano, inicia-se a simulação por qualquer um deles [6].

A simulação será então levada a cabo determinando-se a temperatura em cada interface e com esta, a pressão de saturação.

A temperatura em cada interface do elemento construtivo pode ser obtida através da equação (2.13) e a sua distribuição em cada camada será linear uma vez que as condições climáticas são consideradas constantes ao longo do mês [6].

$$\theta_n = \theta_e + \frac{R'_n}{R'_T} (\theta_i - \theta_e) \quad (2.13)$$

Através da temperatura em cada interface e com recurso às expressões (2.14) e (2.15) poderão ser calculadas as pressões de saturação [6].

$$p_{sat} = 610,5 e^{\frac{17,269\theta}{237,3+\theta}} \quad \text{para } \theta \geq 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.14)$$

$$p_{sat} = 610,5 e^{\frac{21,875\theta}{265,5+\theta}} \quad \text{para } \theta < 0 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.15)$$

De seguida, procede-se à representação gráfica da distribuição da pressão de vapor. O elemento é então representado num sistema de eixos (s_d ;P) e, unindo os pontos de pressão de saturação, de cada interface, em segmentos de recta obtém-se a distribuição da pressão de saturação. Se no mês anterior não se tiver registado fluxo condensado acumulado, a distribuição da pressão instalada deverá ser uma linha recta entre a pressão interior e a pressão exterior (p_i e p_e).

Se o segmento de recta representativo da distribuição da pressão de vapor instalada não intersectar o da distribuição da pressão de saturação, então não há ocorrência de condensações internas, caso da figura 2.3, e o fluxo de vapor de água poderá ser calculado através da seguinte equação [6]:

$$g = \pi_{ar} \frac{p_i - p_e}{s'_{d,T}} \quad (2.16)$$

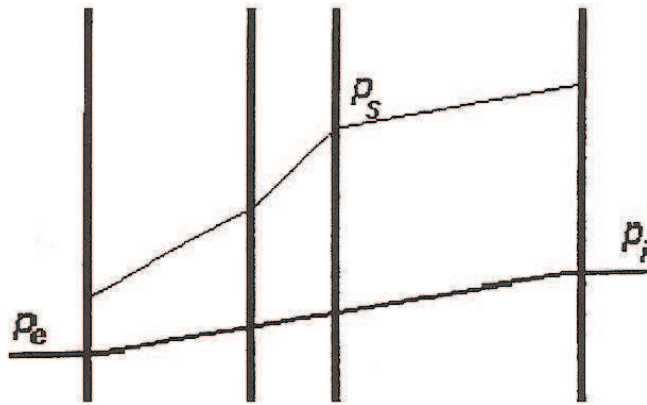


Fig.2.3 – Difusão de vapor de água num elemento construtivo, sem ocorrência de condensações internas [6].

Se a pressão de vapor instalada exceder a pressão de saturação em qualquer interface, a distribuição da pressão de vapor instalada deverá ser redesenhada através de uma série de segmentos de recta, de forma a que iguale a pressão de saturação, num menor número de pontos possível, mas nunca a exceda. Estes pontos serão as interfaces onde ocorrerão condensações [6]. A figura 2.4 ilustra um exemplo.

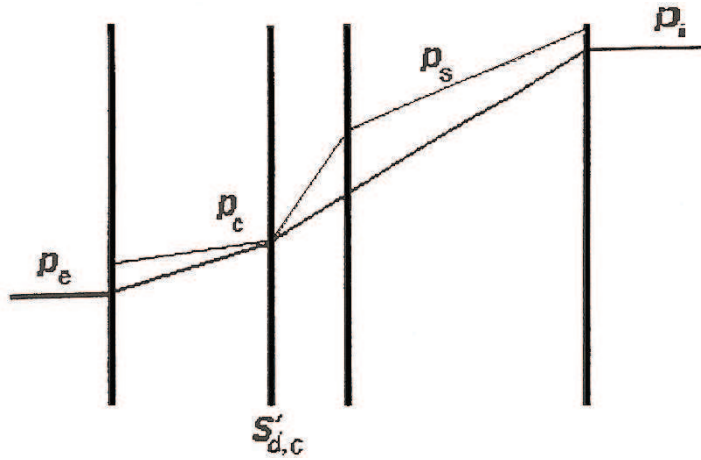


Fig.2.4 – Difusão de vapor de água num elemento construtivo, com ocorrência de condensações internas numa interface [6].

O fluxo condensado será então a diferença entre a quantidade de vapor de água que “entra” e a que “sai” da interface onde ocorre a condensação e poderá ser obtido através da seguinte equação, que segue a nomenclatura da figura 2.4 [6].

$$g_c = \pi_{ar} \left(\frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s'_{d,c}} \right) \quad (2.17)$$

A figura 2.5 ilustra o caso em que ocorre condensação em mais do que uma interface. O respectivo fluxo condensado é calculado, para cada interface, mediante a diferença de inclinação entre dois segmentos de recta consecutivos, como demonstram as equações (2.18) e (2.19).

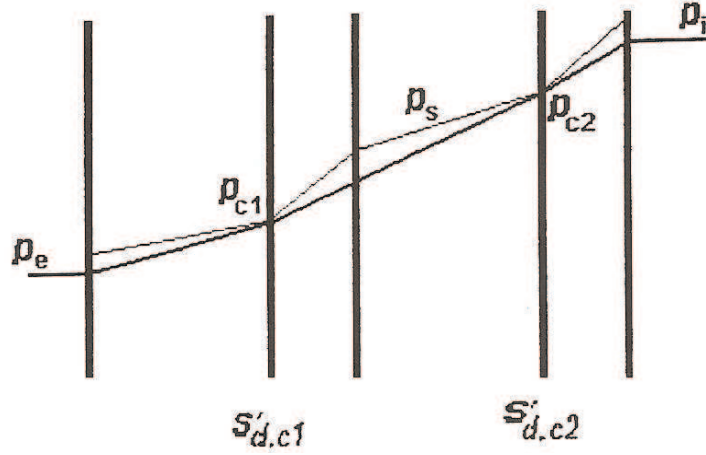


Fig.2.5 – Difusão de vapor de água num elemento construtivo, com ocorrência de condensações internas em duas interfaces [6].

$$\text{Interface c1: } g_{c1} = \pi_{ar} \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s'_{d,c1}} \right) \quad (2.18)$$

$$\text{Interface c2: } g_{c2} = \pi_{ar} \left(\frac{p_i - p_{c2}}{s'_{d,T} - s'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} \right) \quad (2.19)$$

No sentido de ter em conta o fenómeno de evaporação, a norma EN ISO 13788 [6] propõe que na simulação do mês seguinte ao primeiro (que, como explicado anteriormente, terá condensações), as interfaces em que se registam condensações no primeiro mês considerem-se como saturadas no mês seguinte. Assim, o fluxo de difusão de vapor de água irá do interior para o exterior do elemento, como é o caso das interfaces representadas na figura 2.6, $s'_{d,c}$, $s'_{d,c1}$ e $s'_{d,c2}$.

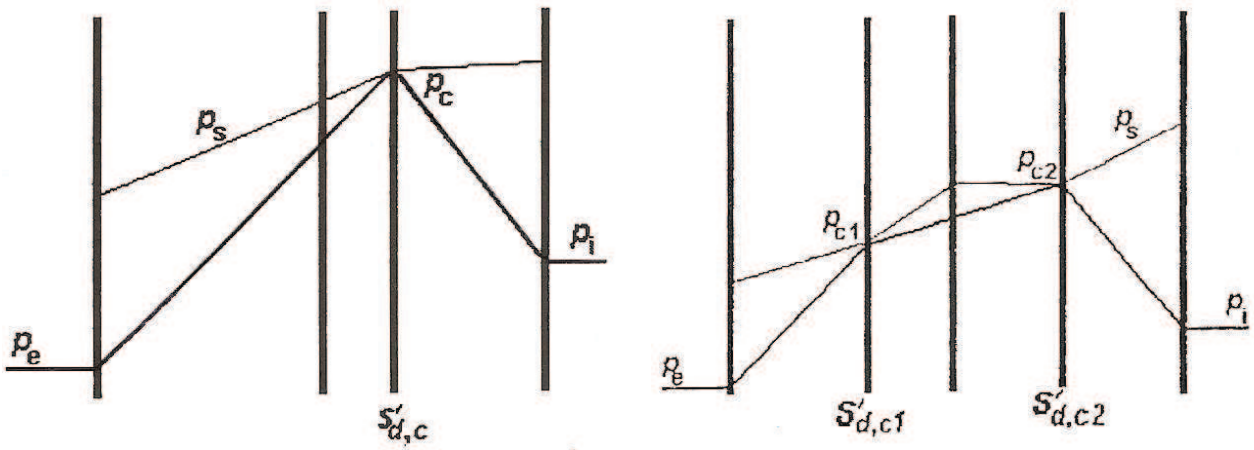


Fig.2.6 – Evaporação numa interface do elemento construtivo, quando ocorrem condensações numa interface (esq.) e quando ocorrem condensações em duas interfaces (dir.) [6].

O fluxo de evaporação toma a mesma expressão do fluxo condensado, já expressa anteriormente, no entanto, por convenção, se a expressão for positiva trata-se do fenómeno de condensação, caso seja negativa diz respeito à evaporação [6].

Como ilustrado na figura 2.7, poderão existir situações em que o elemento construtivo apresenta condensação numa interface e evaporação noutra.

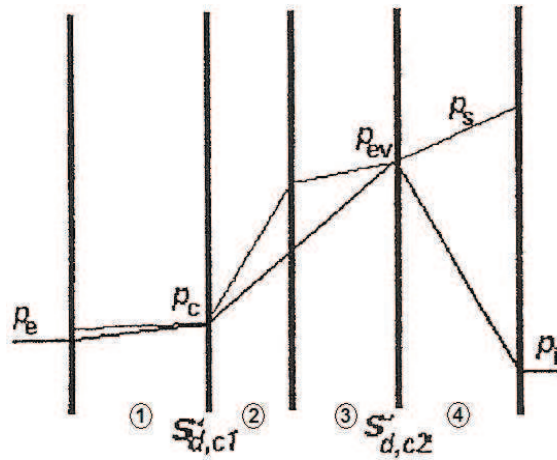


Fig.2.7 – Condensação numa interface do elemento construtivo e evaporação noutra [6].

Neste caso, terá de ser calculado um fluxo condensado e um fluxo de evaporação, separadamente para cada interface, de acordo com as equações (2.20) e (2.21) [6].

$$\text{Condensação entre a camada 1 e 2: } g_c = \pi_{ar} \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s'_{d,c1}} \right) \quad (2.20)$$

$$\text{Evaporação entre a camada 3 e 4: } g_{ev} = \pi_{ar} \left(\frac{p_i - p_{c2}}{s'_{d,T} - s'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} \right) \quad (2.21)$$

Se ao fim de 12 meses o elemento construtivo apresentar um fluxo de evaporação ou secagem superior ao fluxo condensado, então o elemento não apresentará qualquer risco de condensações internas, caso contrário será necessário alterar as suas características.

Assim, de acordo com a norma europeia EN ISO 13788, das simulações efectuadas poderão advir as seguintes conclusões [6]:

- Não se prevê a ocorrência de condensações, em nenhuma interface do elemento construtivo e em nenhum mês do ano, não apresentando assim o elemento qualquer risco de ocorrência de condensações no seu interior.
- Prevê-se a ocorrência de condensações em uma ou mais interfaces do elemento construtivo, prevendo-se no entanto a possibilidade de evaporação por completo durante os meses de Verão. Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção e o desempenho do elemento construtivo poderá ser afectado. Nestes casos, deverá ser referida a máxima quantidade de fluxo condensado em cada interface e o respectivo mês em que ocorre.
- Verifica-se a ocorrência de condensações em uma ou mais interfaces do elemento construtivo, não se prevendo no entanto a possibilidade de secagem por completo durante os meses de Verão. Deverá ser então mencionada a máxima quantidade de fluxo condensado em cada interface, juntamente com a quantidade de fluxo condensado acumulado ao longo dos 12 meses do ano.

2.5. PROGRAMA CONDENSE 13788

2.5.1. ASPECTOS GERAIS

O programa CONDENSE 13788 [7] foi desenvolvido, com o apoio do Laboratório de Física das Construções, LFC-FEUP, com o objectivo de avaliar a probabilidade de ocorrência de condensações internas e da sua eventual evaporação em elementos construtivos. Como o próprio nome indica, baseia-se no método de cálculo especificado na norma EN ISO 13788 [6], partindo por isso, dos mesmos pressupostos, já descritos anteriormente.

De salientar, que para o correcto funcionamento do programa e consequente correcta avaliação do risco de condensações no interior de um elemento de construção, é imprescindível que não ocorram condensações superficiais.

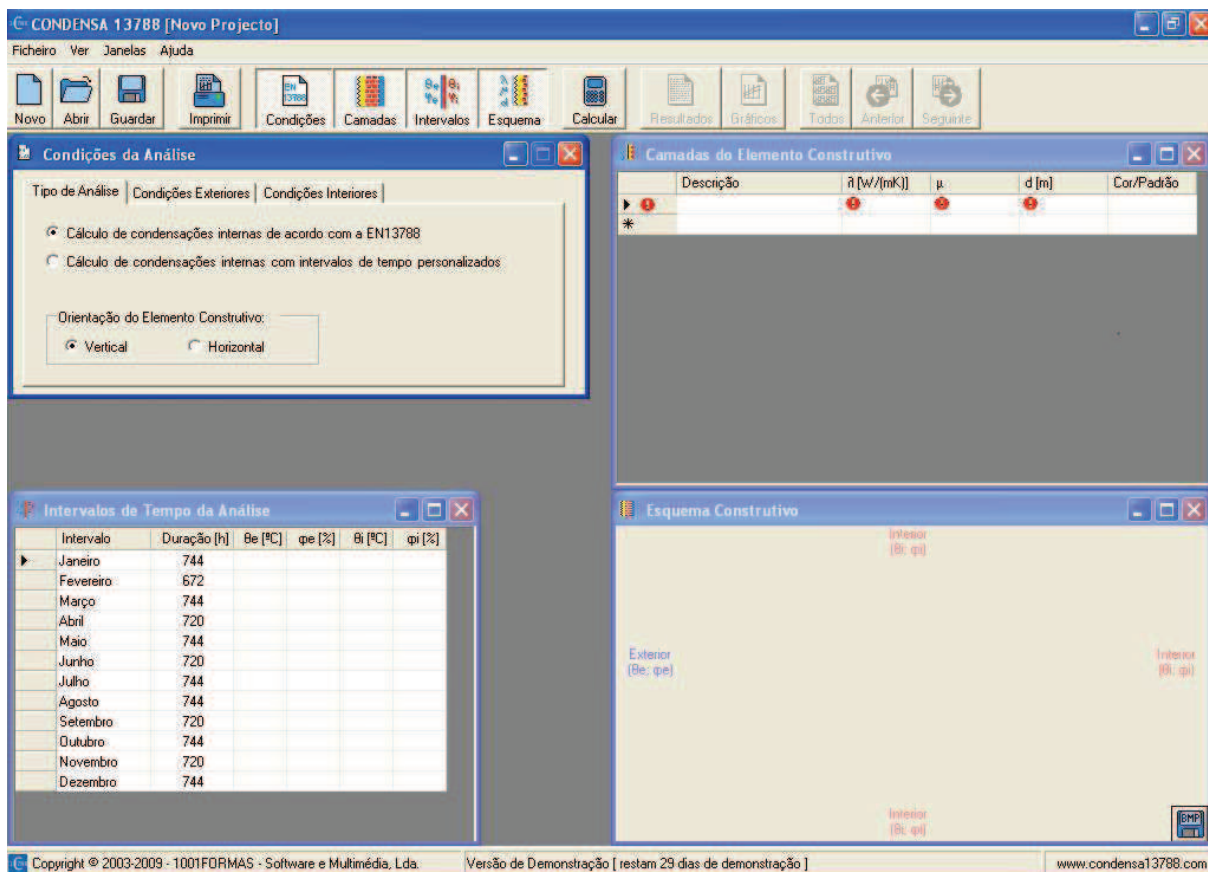


Fig.2.8 – Ecrã de iniciação do programa [CONDENSE 13788].

2.5.2. DADOS DO PROGRAMA

Numa fase inicial é necessário introduzir as condições de análise, isto é, a orientação do elemento construtivo em simulação, as condições exteriores e interiores, figuras 2.9 e 2.10, respectivamente.

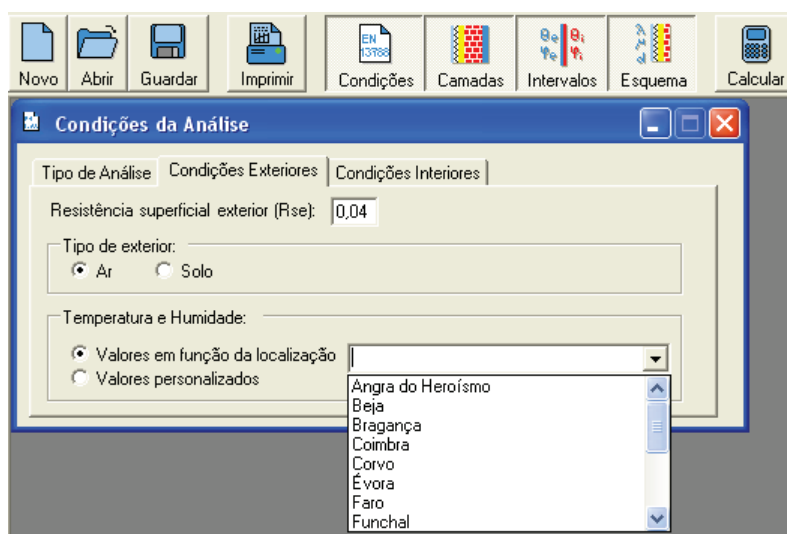


Fig.2.9 – Menu de selecção das condições exteriores [CONDENSE 13788].

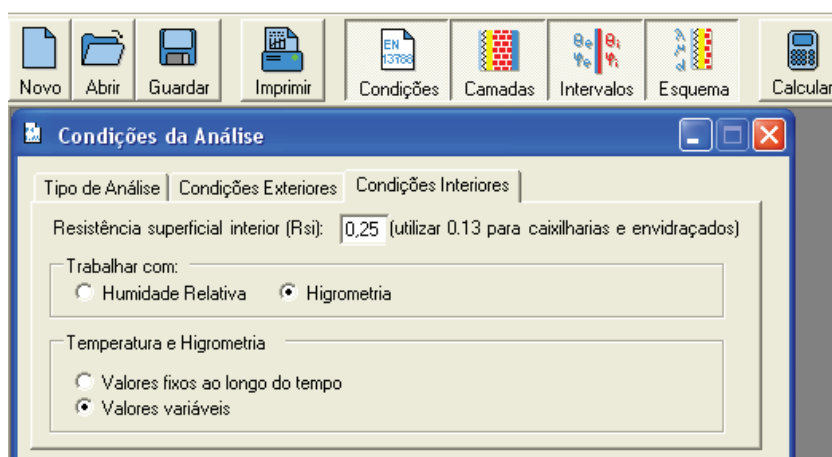


Fig.2.10 – Menu de selecção das condições interiores [CONDENSA 13788].

De destacar que o programa dispõe de uma base de dados para 16 cidades de Portugal Continental e ilhas para as quais já tem definido a temperatura e humidade relativa exterior mensal. A figura 2.11 mostra o ecrã do programa aquando da selecção de Bragança como localização a simular.

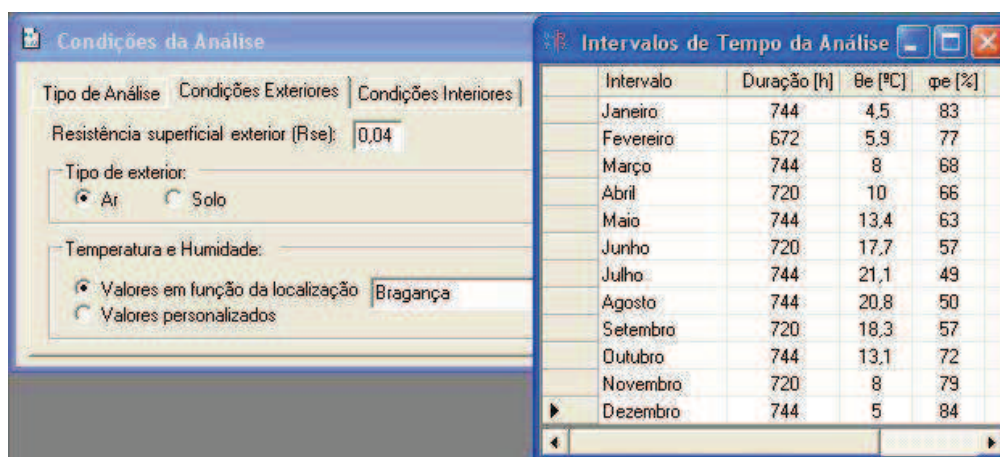


Fig.2.11 – Menu de selecção das condições exteriores e respectivos dados climáticos [CONDENSA 13788].

De seguida, procede-se à descrição do elemento construtivo, introduzindo as várias camadas que o constituem e as respectivas propriedades como a condutibilidade térmica (λ) e o factor de resistência à difusão de vapor de água (μ). As características de cada material utilizado poderão ser introduzidas pelo utilizador ou escolhidas na base de dados do programa. Em simultâneo com a descrição do elemento vai sendo desenhado, à escala, um esquema construtivo. A figura 2.12 ilustra um exemplo do ecrã do programa, aquando desta operação.

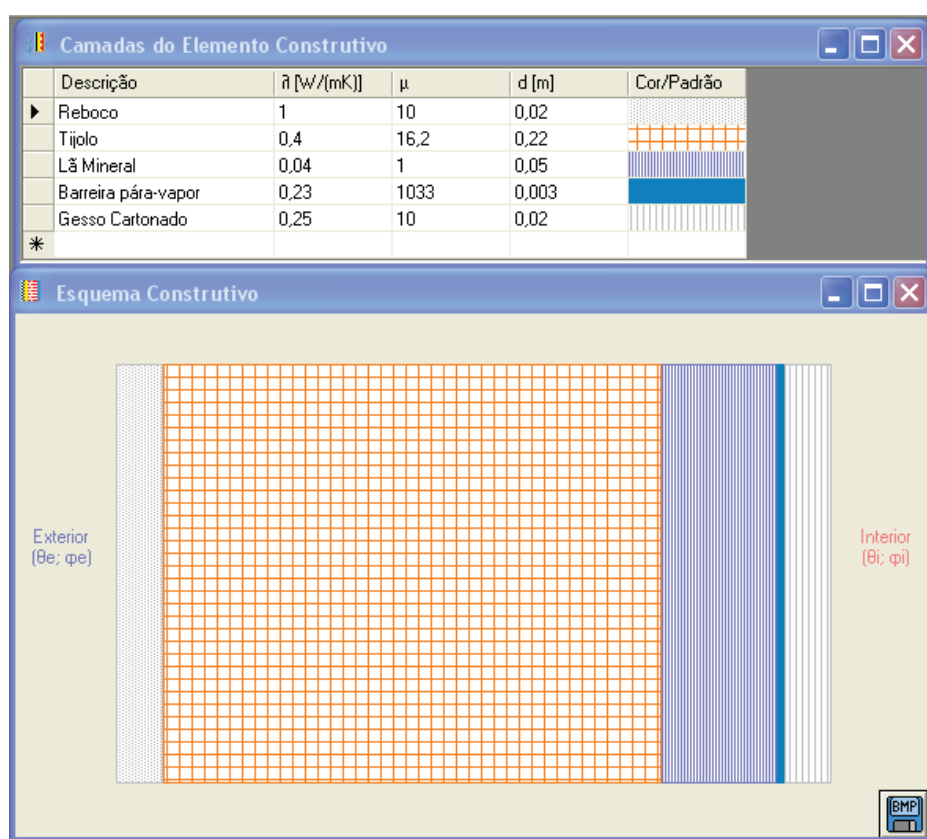


Fig.2.12 – Introdução das camadas do elemento construtivo e respectivo esquema. [CONDENSA 13788].

2.5.3. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos são apresentados numa tabela e em gráficos (12 gráficos, correspondentes aos 12 meses do ano), identificando as interfaces em que ocorrem condensações e, eventualmente evaporação.

Não se verificando a ocorrência de condensações internas a tabela dos resultados fornece, para além das condições de análise introduzidas inicialmente, as pressões exterior e interior instaladas.

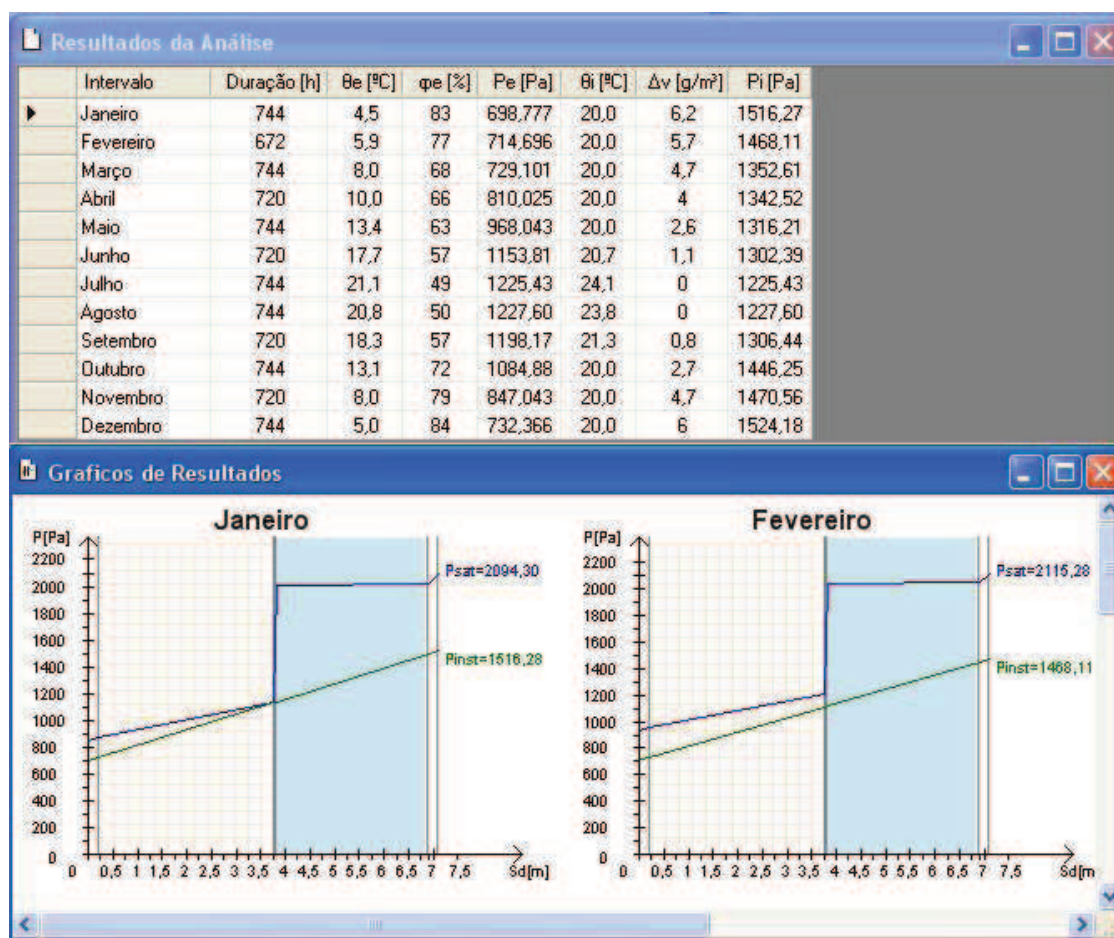


Fig.2.13 – Exemplo de resultados do cálculo, sem ocorrência de condensações internas [CONDENSA 13788].

Quando se regista a ocorrência de condensações no interior do elemento construtivo, a tabela fornece, para além dos parâmetros supracitados, o fluxo condensado em cada mês do ano (g_c) e o fluxo condensado acumulado (Ma).

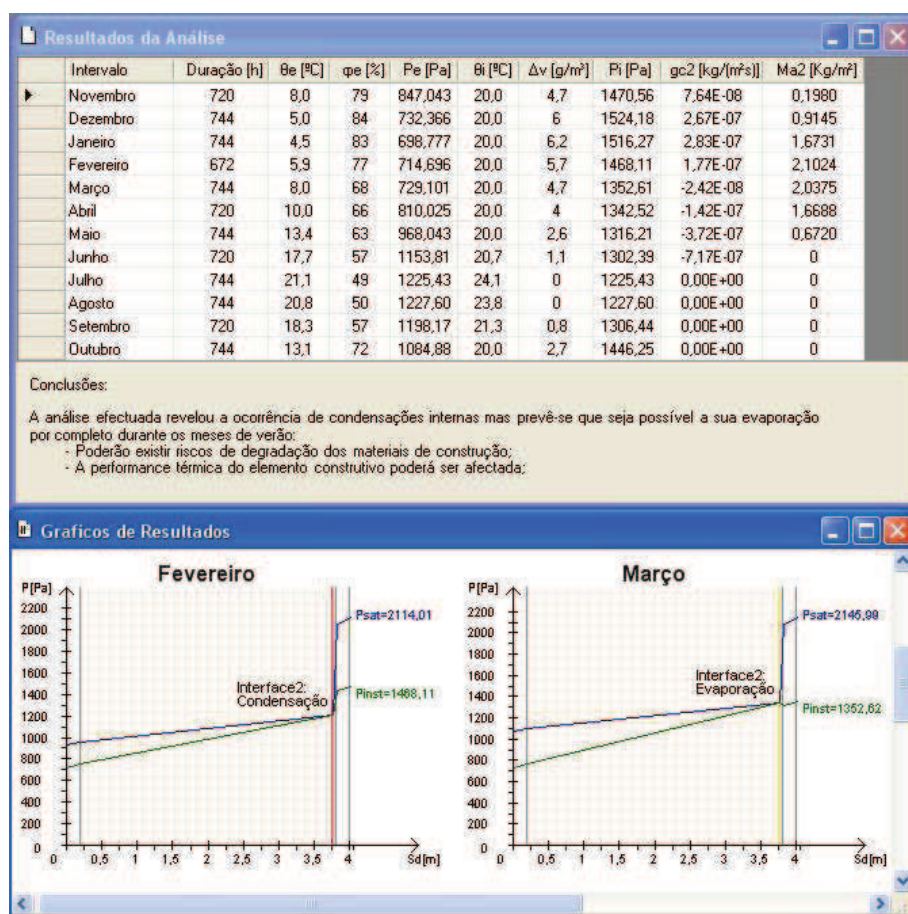


Fig.2.14 – Exemplo de resultados do cálculo, com ocorrência de condensações internas e possibilidade de secagem [CONDENSA 13788].

O programa contém ainda a possibilidade de facilmente guardar e/ou imprimir todo este processo em formato pdf.

3

DESCRIÇÃO DAS SIMULAÇÕES

3.1. ENQUADRAMENTO

Como referido anteriormente, o presente estudo tem como principal propósito a execução de simulações numéricas, no sentido de conhecer o risco de ocorrência de condensações internas inerente aos diferentes elementos construtivos, em função da sua localização geográfica.

Assim, neste capítulo procede-se à descrição dos elementos construtivos simulados, bem como dos diversos parâmetros intervenientes neste processo.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

3.2.1. ELEMENTOS CONSTRUTIVOS

Serão estudados os seguintes elementos construtivos:

- Parede simples com isolamento térmico pelo interior;
- Parede simples com isolamento térmico pelo exterior, do tipo reboco delgado armado sobre poliestireno expandido (ETICS);
- Parede dupla com isolamento térmico preenchendo totalmente a caixa-de-ar;
- Cobertura tradicional em terraço com isolamento térmico exterior;
- Cobertura metálica.

De seguida, serão pormenorizadas as diferentes camadas constituintes dos elementos construtivos.

✓ *Parede simples com isolamento térmico pelo interior*

A parede é constituída por alvenaria de tijolo vazado de 22cm de espessura, isolamento térmico de espessura variável e tendo como revestimentos reboco na face exterior e gesso cartonado na face interior.

A figura 3.1 ilustra o pormenor construtivo da parede.

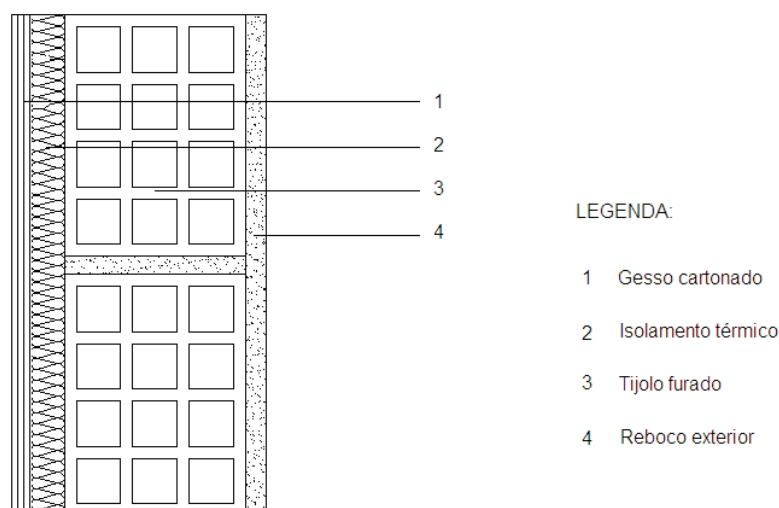


Fig.3.1 – Pormenor construtivo da parede simples com isolamento térmico pelo interior.

Posteriormente, afim de eliminar por completo a ocorrência de condensações internas, procedeu-se ao dimensionamento de uma barreira pára-vapor, devendo esta ser colocada de acordo com o pormenor construtivo da figura 3.2.

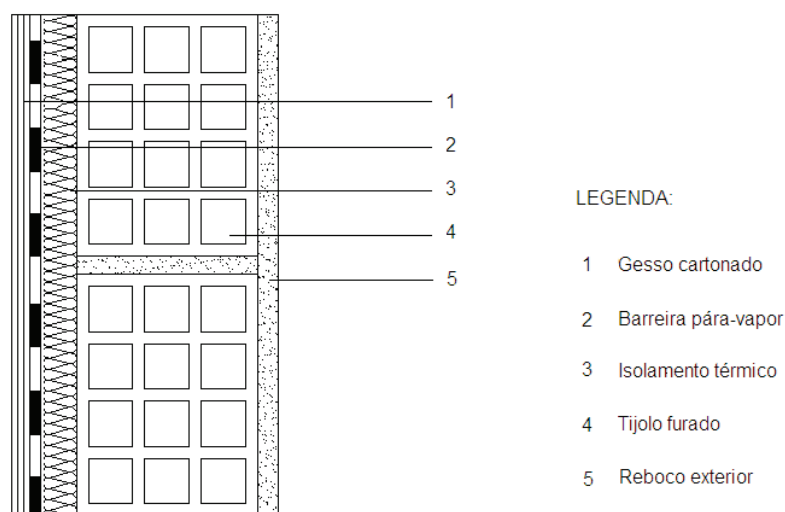


Fig.3.2 – Pormenor construtivo da colocação da barreira pára-vapor, na parede simples com isolamento térmico pelo interior.

✓ Parede simples com isolamento térmico pelo exterior – ETICS

O sistema ETICS é constituído por placas de poliestireno expandido (EPS), revestidas com reboco delgado armado, aplicado em várias camadas, com uma ou várias redes de fibra de vidro. Geralmente, como acabamento, é utilizado um revestimento plástico espesso (RPE). Na figura 3.3 é possível visualizar a constituição da parede.

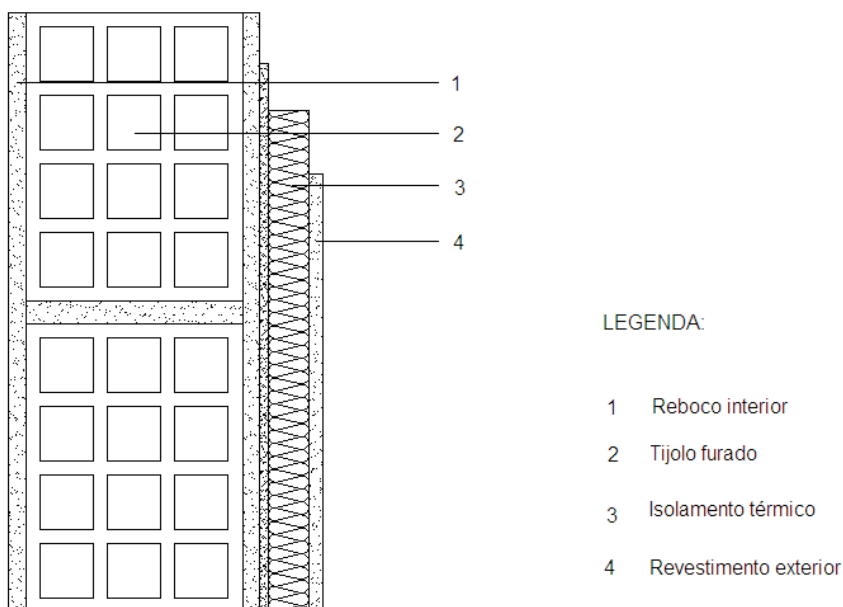


Fig.3.3 – Pormenor construtivo da parede simples com isolamento térmico pelo exterior, ETICS.

A figura 3.4 apresenta o desenho esquemático da constituição das várias camadas de uma fachada revestida a ETICS.

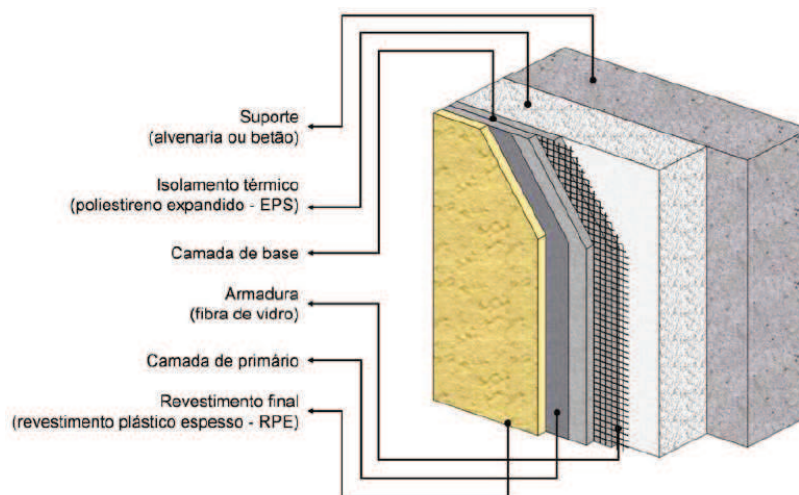


Fig.3.4 – Pormenor esquemático da parede com isolamento térmico pelo exterior, ETICS [16].

✓ *Parede dupla com isolamento térmico preenchendo totalmente a caixa-de-ar*

A parede dupla em análise é constituída por uma fiada de tijolo cerâmico de 20 pelo exterior e outra de 7 pelo interior, sendo a caixa-de-ar totalmente preenchida por isolamento térmico. Na figura 3.5 é possível visualizar de forma mais concreta a constituição da parede dupla.

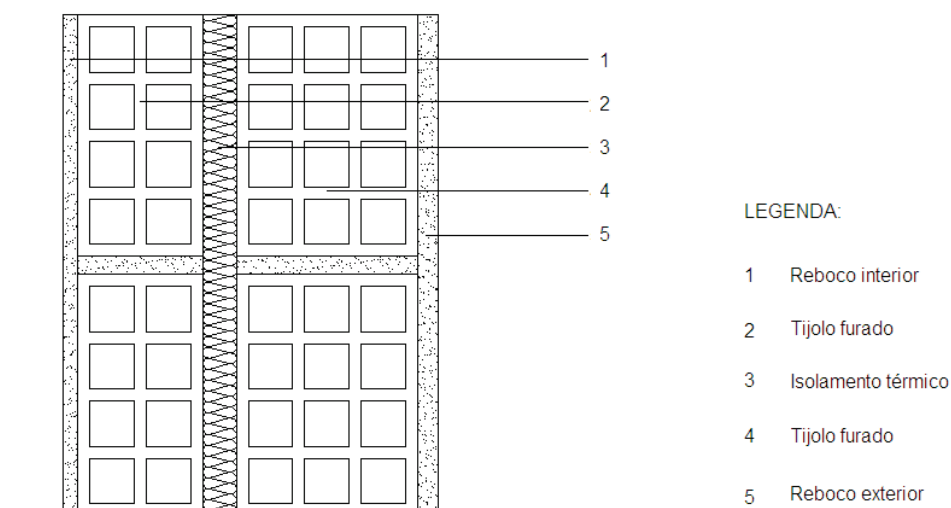


Fig.3.5 – Pormenor construtivo da parede dupla com isolamento térmico no interior.

✓ *Cobertura horizontal em terraço com isolamento exterior*

A cobertura plana tradicional é constituída por uma laje de betão armado de 20cm, e isolamento térmico sob o sistema de impermeabilização. Inicialmente, este elemento construtivo foi simulado para as diferentes cidades considerando a inexistência de uma barreira pára-vapor. Posteriormente, procedeu-se ao dimensionamento da barreira pára-vapor, de forma a eliminar por completo a ocorrência de condensações internas. A figura 3.6 ilustra o pormenor construtivo da cobertura, inicialmente, ou seja, sem barreira pára-vapor. Na figura 3.7 é possível visualizar o pormenor construtivo, considerando a existência de uma barreira pára-vapor.

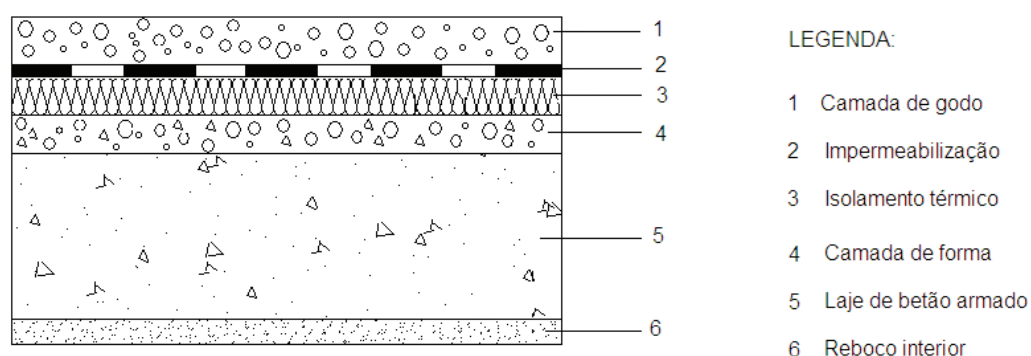


Fig.3.6 – Pormenor construtivo da cobertura horizontal em terraço, sem barreira pára-vapor.

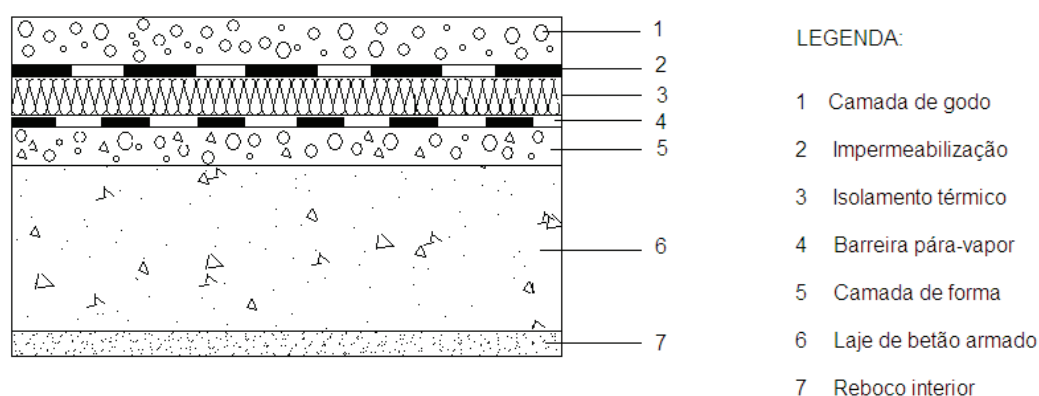


Fig.3.7 – Pormenor construtivo da cobertura horizontal em terraço, com barreira pára-vapor.

✓ Cobertura metálica

Para o presente estudo, o espaço de ar da cobertura metálica é considerado como sendo não ventilado e, à semelhança da cobertura horizontal em terraço, numa fase inicial foi simulado sem barreira pára-vapor, procedendo-se posteriormente ao seu dimensionamento de forma a evitar condensações internas.

As figuras 3.8 e 3.9 ilustram o pormenor construtivo da cobertura metálica sem e com barreira pára-vapor, respectivamente.

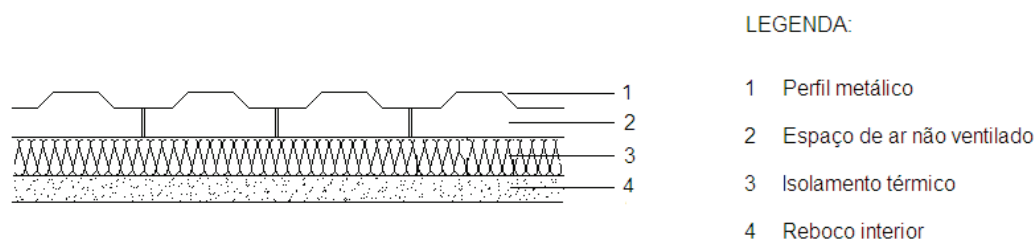


Fig.3.8 – Pormenor construtivo da cobertura metálica, sem barreira pára-vapor.

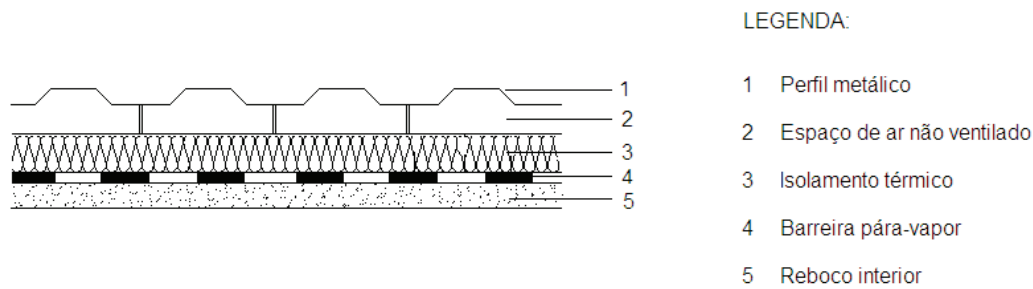


Fig.3.9 – Pormenor construtivo da cobertura metálica, com barreira pára-vapor.

3.2.2. ISOLAMENTO TÉRMICO

Para o desenvolvimento deste estudo, foram considerados três tipos de isolamento correntemente utilizados, sendo eles a lã mineral (MW), o poliestireno expandido (EPS) e o poliestireno extrudido (XPS).

Para cada elemento construtivo foram estudadas três espessuras de isolamento térmico, sendo definidas em função de três níveis de qualidade térmica (nível referente ao coeficiente de transmissão (U) máximo, nível referente ao U de referência e nível de qualidade térmica N2) e, consequentemente da zona climática em questão. Estipulando o valor de 0,04 para a condutibilidade térmica do isolamento térmico e através da equação (3.1) obtiveram-se assim as diversas espessuras.

$$e_{\text{isolamento}} = \left(\frac{1}{U} - (R_{si} + \sum R_j + R_{se}) \right) \times \lambda_{\text{isolamento}} \quad (3.1)$$

Em que:

e – Espessura do isolamento térmico [m]

U – Coeficiente de transmissão térmica [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]

R_{si} , R_{se} – Resistências térmicas superficiais interior e exterior, respectivamente [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]

$\sum R_j$ – Resistência térmica das camadas j , excluindo a camada de isolamento térmico [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]

λ – Condutibilidade térmica do isolamento térmico [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$]

No ponto 3.2.3 esta questão é abordada mais detalhadamente, para cada elemento construtivo.

3.2.3. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

A simulação dos elementos construtivos através do programa CONDENSA 13788 [7] pressupõe o conhecimento de determinadas características físicas de todos os materiais. Assim, de seguida serão definidas, muito sucintamente, as propriedades dos diferentes materiais.

Tabela 3.1 – Propriedades dos materiais.

Símbolo	Conceito	Definição	Unidade (s)
e	Espessura	Distância compreendida entre as duas faces do material.	cm
λ	Condutibilidade Térmica	Quantidade de calor que atravessa perpendicularmente um determinado material, por unidade de tempo e espessura, quando sujeito a um gradiente de temperatura unitário entre as duas faces do material, planas e paralelas. [5]	W/(m.°C) ou W/(m.K)
μ	Factor de Resistência à Difusão de Vapor de Água	Valor característico dos materiais, obtido pela relação (adimensional) entre a permeabilidade ao vapor de água do ar (π_{ar}) e a permeabilidade ao vapor de água do próprio material (π). [5]	-

$$\mu = \frac{\pi_{ar}}{\pi}$$

A norma EN ISO 13788 [6] remete a selecção dos valores das propriedades dos materiais acima citadas para a norma EN 12524 [12]. Assim sendo, os valores das propriedades dos materiais a introduzir no programa CONDENSA 13788 [7] são preferencialmente os estabelecidos na norma EN 12524 [12]. No caso dos materiais que não constam da norma os valores foram obtidos pelo ITE 50 [17] (no caso da condutibilidade térmica) e pela NIT 002 [5] (no caso do factor de resistência à difusão de vapor de água).

De seguida, serão apresentadas, por elemento construtivo, as camadas que o constituem, assim como as propriedades e espessura dos diversos materiais necessárias ao funcionamento do programa.

✓ *Parede simples com isolamento térmico pelo interior*

Tabela 3.2 – Propriedades das camadas da parede simples.

Material	e [cm]	λ [W/m.°C]	μ [-]
Reboco exterior	2	1,0 (1)	10 (1)
Tijolo	22	0,40 (2)	16,2 (3)
Isolamento térmico	MW (4)	0,04 (2)	1 (1)
	XPS (4)	0,037 (2)	150 (1)
Gesso Cartonado	2	0,25 (1)	10 (1)

(1) Valores retirados da Norma EN 12524 [12].

(2) Valores retirados do ITE 50 [17].

(3) Valor retirado da NIT 002 [5].

(4) A espessura do isolamento é definida em função de três níveis de qualidade térmica e da região climática.

Tabela 3.3 – Espessuras do isolamento térmico da parede simples.

Espessura [cm]	l_1	l_2	l_3
$e_{(U_{m\acute{a}x})}$	0 (1)	0 (1)	0 (1)
$e_{(U_{ref})}$	3	4	5
$e_{(UN2)}$	4	6	8

(1) Situação sem isolamento térmico.

✓ Parede simples com isolamento térmico pelo exterior – ETICS

Neste estudo, pretende-se saber qual a espessura da camada de ar de difusão equivalente (s_d) máxima do revestimento exterior, de modo a não ocorrerem condensações internas. Para tal, fixou-se o valor da espessura desta camada (2mm) e da condutibilidade térmica ($\lambda = 1 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$). Adoptou-se este último valor porque como a espessura da camada é muito fina, este valor não terá grande influência nos cálculos.

Tabela 3.4 – Propriedades das camadas da parede de ETICS.

Material		e [cm]	λ [W/m.°C]	μ [-]
Revestimento exterior		0,2	1,0	?
Isolamento térmico	EPS	(1)	0,04 (2)	60 (3)
Tijolo		22	0,4 (2)	16,2 (4)
Reboco interior		2	1,0 (3)	10 (3)

(1) A espessura do isolamento é definida em função de três níveis de qualidade térmica e da região climática.

(2) Valores retirados do ITE 50 [17].

(3) Valores retirados da Norma EN 12524 [12].

(4) Valor retirado da NIT 002 [5].

Tabela 3.5 – Espessuras do isolamento térmico da parede de ETICS.

Espessura [cm]	l_1	l_2	l_3
$e_{(U_{m\acute{a}x})}$	0 (1)	0 (1)	0 (1)
$e_{(U_{ref})}$	3	4	5
$e_{(UN2)}$	5	6	8

(1) Situação sem isolamento térmico.

De destacar, que para um nível de qualidade térmica correspondente ao $U_{m\acute{a}x}$, não seria de considerar a existência de isolamento térmico. No entanto, tratando-se o ETICS de um sistema composto por isolamento térmico prefabricado aplicado sobre um suporte, e revestido por reboco armado, não faz sentido não considerar a existência do mesmo.

✓ *Parede dupla com isolamento térmico preenchendo totalmente a caixa-de-ar*

Tabela 3.6 – Propriedades das camadas da parede dupla.

Material	e [cm]	λ [W/m.°C]	μ [-]
Reboco exterior	2	1,0 (1)	10 (1)
Tijolo	20	0,40 (2)	17,8 (3)
Isolamento térmico	MW	(4)	0,04 (2)
	EPS	(4)	0,04 (2)
	XPS	(4)	0,037 (2)
Tijolo	7	0,40 (2)	50,9 (3)
Reboco interior	1,5	1,0 (1)	10 (1)

(1) Valores retirados da Norma EN 12524 [12].

(2) Valores retirados do ITE 50 [17].

(3) Valores retirados da NIT 002 [5].

(4) A espessura do isolamento é definida em função de três níveis de qualidade térmica e da região climática.

Tabela 3.7 – Espessuras do isolamento térmico da parede dupla.

Espessura [cm]	l_1	l_2	l_3
$e_{(U_{m\acute{a}x})}$	0 (1)	0 (1)	0 (1)
$e_{(U_{ref})}$	2	3	4
$e_{(UN2)}$	4	5	7

(1) Situação sem isolamento térmico.

Para as simulações da parede dupla sem isolamento térmico, foi considerada uma espessura da caixa-de-ar de 2cm.

✓ *Cobertura horizontal em terraço com isolamento exterior*

Relativamente à cobertura plana tradicional, tal como descrito no ponto 3.2.1, o objectivo é inicialmente simular sem a existência de uma barreira pára-vapor e posteriormente proceder ao seu dimensionamento, determinando a espessura da camada de ar de difusão equivalente (s_d) mínima para que não ocorram condensações internas. Assim, é fixado um valor da espessura da barreira de 3mm e uma condutibilidade térmica de 0,23 W/ (m.°C).

Tabela 3.8 – Propriedades das camadas da cobertura plana tradicional.

Material	e [cm]	λ [W/m.°C]	μ [-]
Camada de godo	5	2,0 (1)	50 (1)
Impermeabilização	0,3	0,23 (1)	50000 (1)
Isolamento térmico	MW	(3)	0,04 (2)
	EPS	(3)	0,04 (2)
	XPS	(3)	0,037 (2)
Barreira pára-vapor	0,3	0,23	?
Camada de forma	4	0,16 (2)	10 (1)
Betão armado	20	2,3 (1)	130 (1)
Reboco interior	2	1,0 (1)	10 (1)

(1) Valores retirados da Norma EN 12524 [12].

(2) Valores retirados do ITE 50 [17].

(3) A espessura do isolamento é definida em função de três níveis de qualidade térmica e da região climática.

Tabela 3.9 – Espessuras do isolamento térmico da cobertura plana tradicional.

Espessura [cm]	l_1	l_2	l_3
$e_{(U_{\max})}$	1	2	2
$e_{(U_{\text{ref}})}$	6	7	8
$e_{(UN2)}$	9	10	11

✓ Cobertura metálica

Tabela 3.10 – Propriedades das camadas da cobertura metálica.

Material	e [cm]	λ [W/m.°C]	μ [-]
Perfil metálico (zinco)	0,1	110 (1)	100000 (2)
Caixa-de-ar	4	0,025 (1)	1 (1)
Isolamento térmico	MW	(4)	0,04 (3)
	EPS	(4)	0,04 (3)
	XPS	(4)	0,037 (3)
Barreira pára-vapor	0,3	0,23	?
Reboco interior	2	1,0 (1)	10 (1)

(1) Valores retirados da Norma EN 12524 [12].

(2) Valor sugerido pela Norma EN ISO 13788 [6], para efeitos de cálculo, para materiais que efectivamente apresentam um valor infinito de μ .

(3) Valores retirados do ITE 50 [17].

(4) A espessura do isolamento é definida em função de três níveis de qualidade térmica e da região climática.

O estudo efectuado para a cobertura metálica segue o mesmo raciocínio do realizado para a cobertura plana tradicional, tal como descrito no ponto 3.2.1. De salientar, que o espaço de ar foi considerado como não ventilado, para o presente estudo.

Tabela 3.11 – Espessuras do isolamento térmico da cobertura metálica.

Espessura [cm]	l_1	l_2	l_3
$e_{(U_{máx})}$	2	3	4
$e_{(U_{ref})}$	7	8	9
$e_{(UN2)}$	10	11	12

3.3. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS EXTERIORES

O comportamento higrotérmico de um edifício depende fortemente da sua localização geográfica. Deste modo, será necessário obter os dados climáticos para cada uma das localizações em estudo.

A obtenção dos dados climáticos foi efectuada através do programa de cálculo automático, CONDENSE 13788 [7], mediante a escolha da localização.

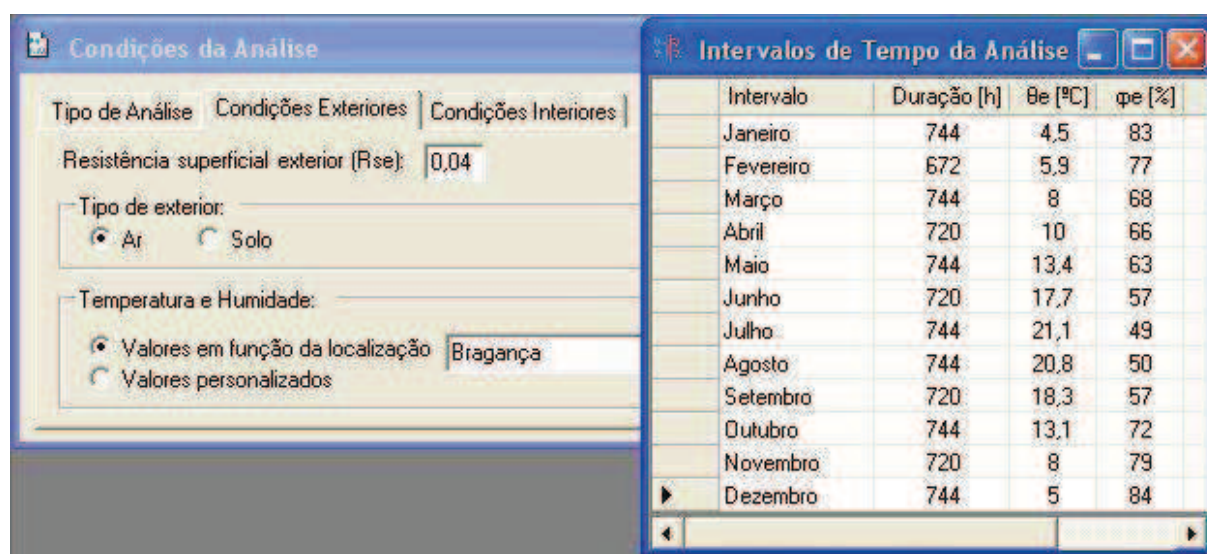


Fig.3.10 – Ecrã de configuração da localização e respectivos dados climáticos [CONDENSE 13788].

Uma vez que o programa CONDENSE 13788 [7] dispõe de dados climáticos de 16 cidades de Portugal Continental e ilhas, procedeu-se a uma análise em função da temperatura exterior e da pressão de vapor ao longo do ano, registada em cada cidade, de modo a restringir o conjunto de cidades a simular.

Deste modo, optou-se por um conjunto de 6 cidades. Algumas cidades foram escolhidas tendo em conta, à partida, a sua maior susceptibilidade de apresentar maior risco de condensações internas, quer pela temperatura exterior mais baixa, quer pela pressão de vapor mais elevada, como é o caso de Bragança e Ponta Delgada, respectivamente. As restantes cidades foram escolhidas de tal modo que permitissem uma representação do que se poderá passar em todo o país, com o intuito de

posteriormente proceder ao mapeamento do risco de condensações internas em Portugal. Estando o território nacional e ilhas dividido em zonas climáticas de Inverno (I_1 , I_2 e I_3) e zonas climáticas de Verão (V_1 , V_2 e V_3) e dada a variação das condições meteorológicas de região para região, procurou-se igualmente que as simulações abrangessem a totalidade das zonas climáticas. Assim sendo, serão efectuadas simulações em Bragança, Porto, Coimbra, Portalegre, Lisboa e Ponta Delgada.

Nas figuras 3.11 e 3.12 são representadas as cidades em simulação, em função da temperatura exterior e da pressão de vapor, respectivamente.

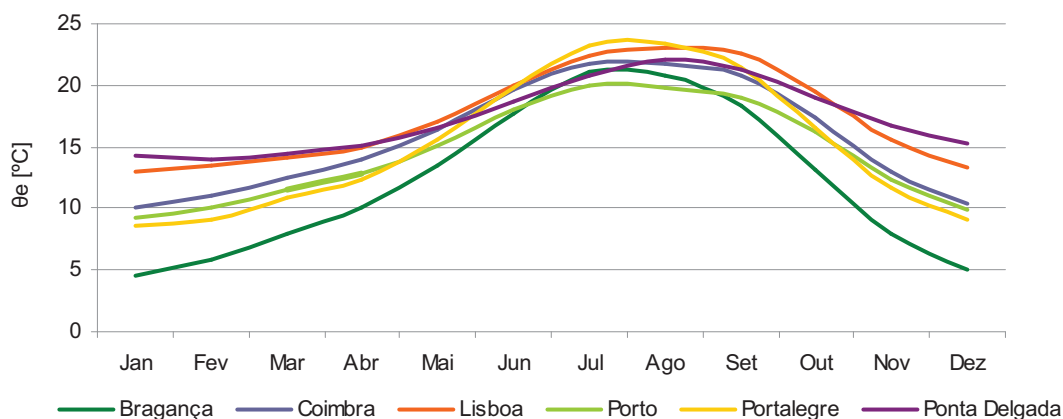


Fig.3.11 – Temperatura exterior das diferentes cidades em simulação [CONDENSA 13788].

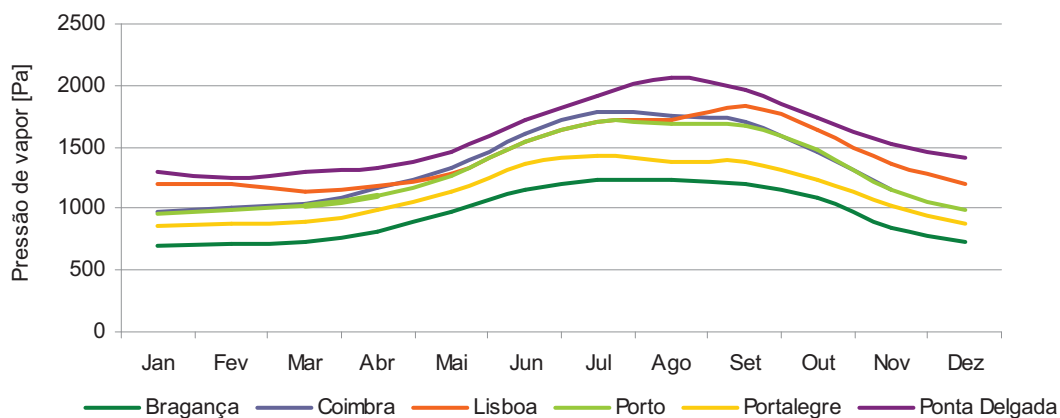


Fig.3.12 – Pressão de vapor das diferentes cidades em simulação [CONDENSA 13788].

Na figura 3.13 é possível verificar o enquadramento das cidades em simulação segundo as zonas climáticas de Inverno e de Verão.

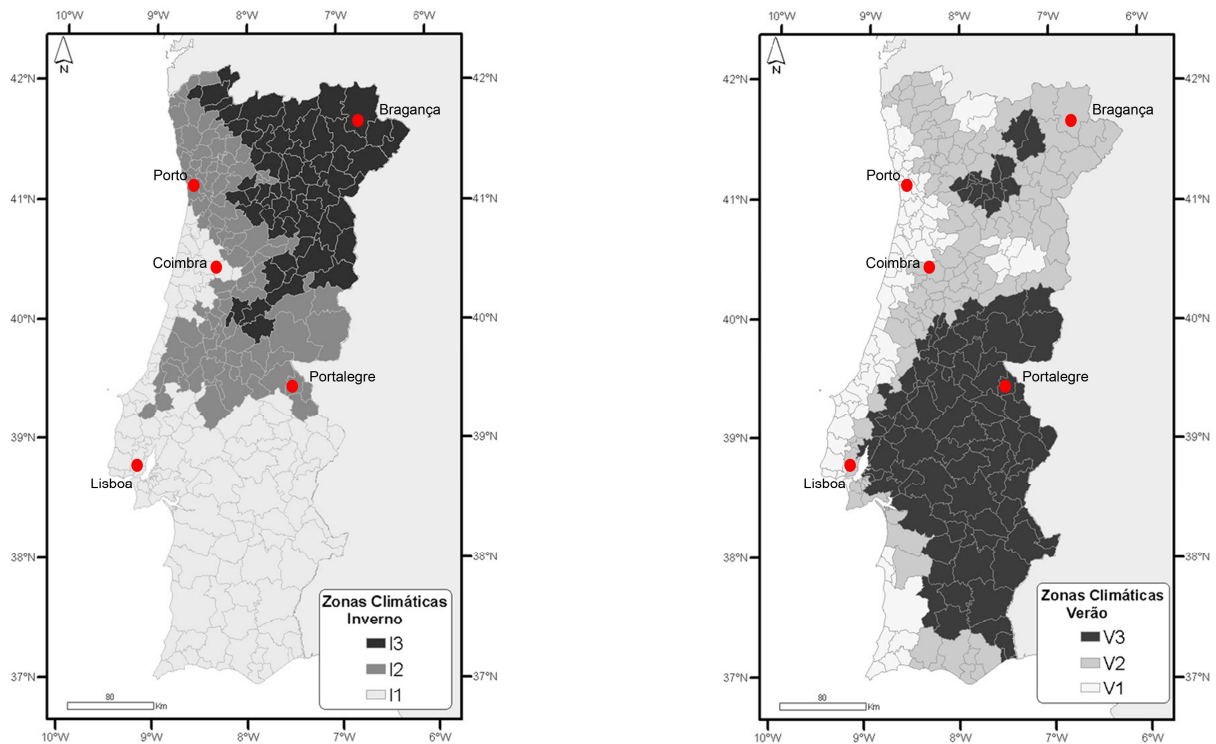


Fig.3.13 – Localização das cidades em simulação e respectivas zonas climáticas de Inverno (esq.) e Verão (dir.), adaptado de [10].

A zona climática de Inverno de Ponta Delgada, visto ser uma ilha do arquipélago dos Açores, depende da sua altitude. Assim sendo, apresentando uma altitude inferior a 600m, insere-se na zona climática I_1 . Tal como toda a Região Autónoma dos Açores, Ponta Delgada enquadra-se na zona climática V_1 .

3.4. TEMPERATURA INTERIOR

A realização das simulações numéricas para avaliar o comportamento higrotérmico dos edifícios, pressupõe também o conhecimento da temperatura no interior do edifício, ao longo do ano.

Inicialmente, o programa CONDENSE 13788 [7] assume, por defeito, uma temperatura interior constante e igual a 20°C o que, na realidade não será muito representativo do que ocorre na maioria dos edifícios em Portugal, uma vez que grande parte destes, nomeadamente edifícios de habitação, não são aquecidos no Inverno e não possuem sistema de arrefecimento no Verão.

Assim, foram definidos dois perfis de temperatura interior, em função da temperatura exterior de cada cidade, procurando representar melhor o que se passa nos edifícios portugueses. Deste modo, foi definido um perfil de temperatura interior como sendo 3°C superior à temperatura exterior ($\theta_i = \theta_e + 3^\circ\text{C}$) e outro perfil caracterizado por uma temperatura interior de Inverno constante e igual a 20°C e uma temperatura interior de Verão 3°C superior à temperatura exterior ($\theta_{\text{inverno}}/\theta_{\text{verão}}$).

As figuras 3.14 e 3.15 representam os perfis de temperatura definidos, para as diferentes cidades a simular, ao longo do ano.

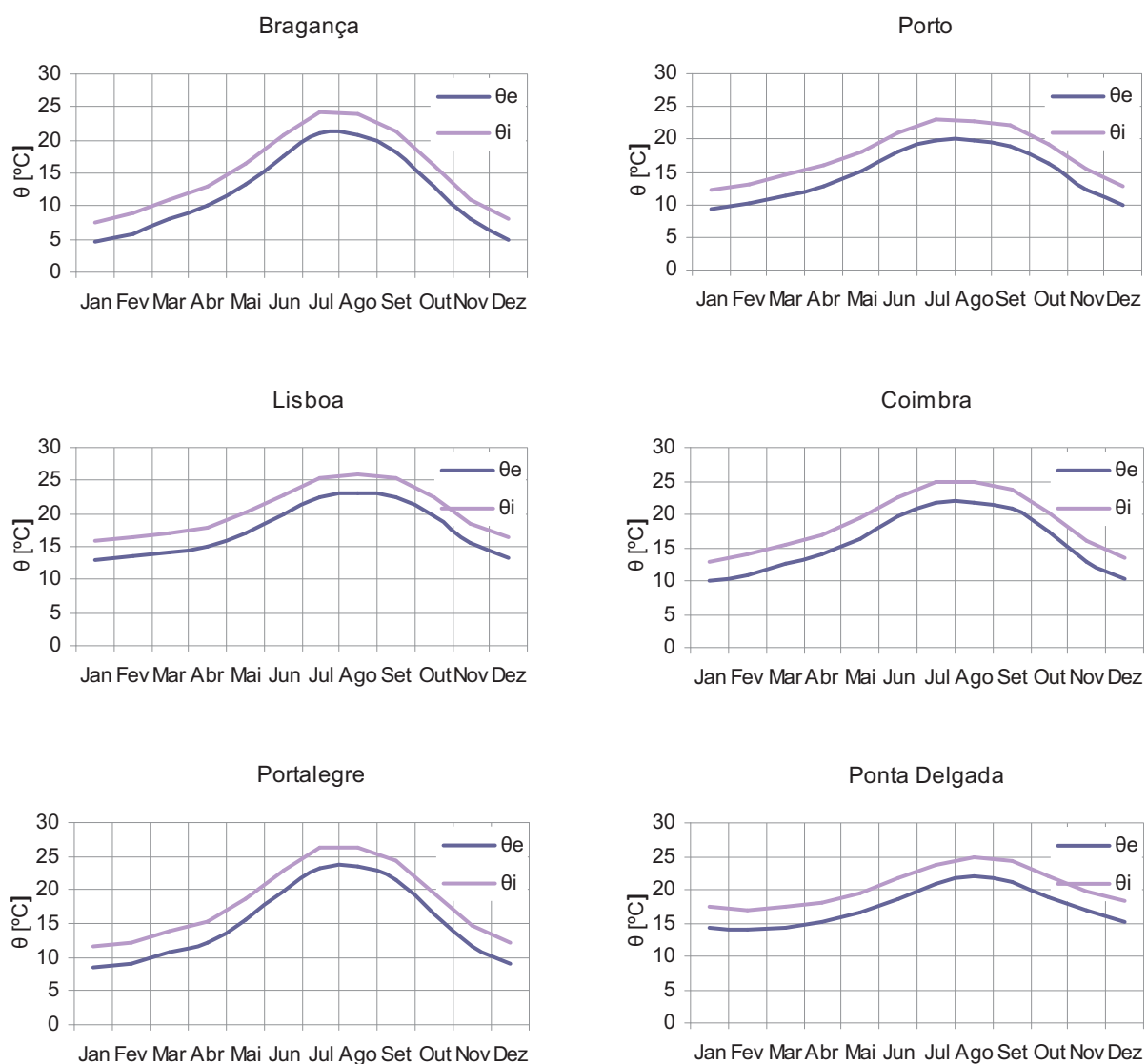


Fig.3.14 – Temperatura interior das diferentes cidades – perfil $\theta_i = \theta_e + 3^{\circ}\text{C}$.

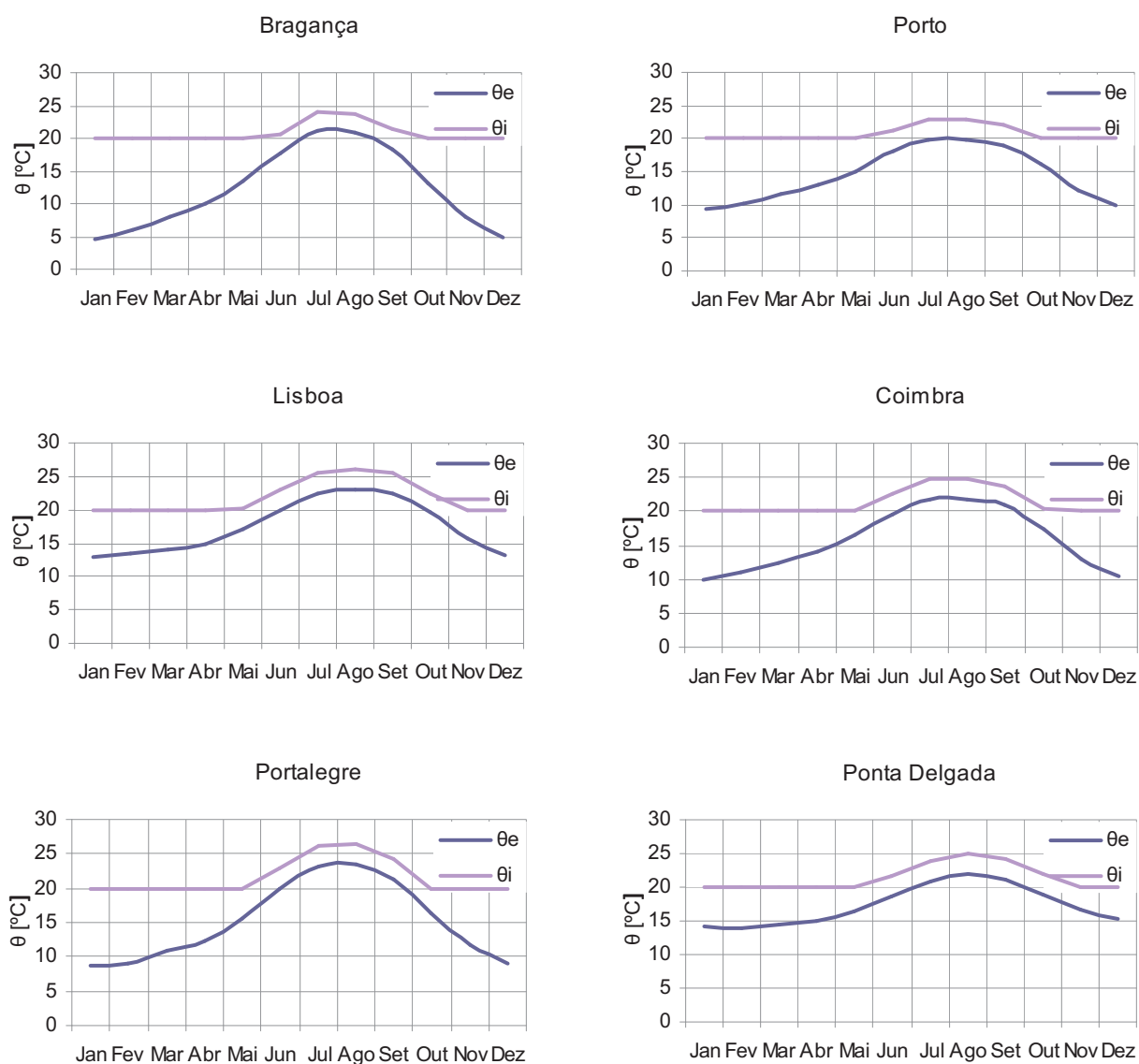


Fig.3.15 – Temperatura interior das diferentes cidades – perfil θ inverno/ θ verão.

Na tabela 3.12 encontram-se mais detalhadas as temperaturas interiores para cada cidade, de acordo com o perfil $\theta_i = \theta_e + 3^\circ\text{C}$.

Tabela 3.12 – Temperaturas interiores, para as diferentes cidades – perfil $\theta_i = \theta_e + 3^\circ\text{C}$.

	Bragança	Porto	Lisboa	Coimbra	Portalegre	P. Delgada
Janeiro	7,5	12,3	16	13	11,6	17,3
Fevereiro	8,9	13,1	16,5	14	12,1	16,9
Março	11	14,5	17,1	15,5	13,8	17,4
Abril	13	15,9	18	17	15,3	18,1
Maio	16,4	18,1	20,1	19,4	18,6	19,5
Junho	20,7	21,1	22,9	22,6	22,8	21,6
Julho	24,1	22,9	25,4	24,8	26,2	23,8
Agosto	23,8	22,8	26,1	24,8	26,4	25
Setembro	21,3	22	25,5	23,8	24,4	24,2
Outubro	16,1	19,2	22,5	20,4	19,5	22
Novembro	11	15,3	18,6	16	14,7	19,8
Dezembro	8	12,9	16,3	13,4	12,1	18,2

3.5. HIGROMETRIA

A avaliação do risco de condensações internas em elementos construtivos através do método de Glaser, no qual é baseado o programa CONDENSE 13788 [7] utilizado neste estudo, requer o conhecimento do clima interior, nomeadamente da temperatura interior como referido no ponto 3.4 e da humidade relativa interior ou da higrometria.

Para a realização deste estudo, optou-se pela utilização da higrometria.

A higrometria corresponde ao quociente entre a produção de vapor interior e o caudal de renovação de ar, traduzindo assim o aumento da pressão do vapor de água interior em relação ao exterior e, consequentemente, definindo o gradiente de pressão de vapor a que se encontra submetida a envolvente do local [5]. A norma EN ISO 13788 [6] refere-se à higrometria como sendo o excesso de humidade interior.

A higrometria fornece igualmente a base para uma classificação de edifícios. Na tabela 3.13 apresentam-se os valores propostos por Freitas e Pinto [5] para Portugal. A norma EN ISO 13788 [6] sugere classes de humidade interior de referência, dependentes da temperatura exterior.

Tabela 3.13 – Classificação dos edifícios em função da sua higrometria [5].

Classe	Higrometria	Tipo de Edifício
I – Fraca higrometria	$\frac{\omega}{n.V} \leq 2,5 g / m^3$	Escritórios, escolas, ginásios
II – Média higrometria	$2,5 \leq \frac{\omega}{n.V} \leq 5,0 g / m^3$	Edifícios de habitação não sobreocupados e correctamente ventilados
III – Forte higrometria	$5,0 \leq \frac{\omega}{n.V} \leq 7,5 g / m^3$	Edifícios de habitação com ventilação deficiente, indústrias
IV – Muito forte higrometria	$\frac{\omega}{n.V} \geq 7,5 g / m^3$	Piscinas, certas indústrias com grande produção de vapor

O trabalho desenvolvido por França [18] assentou na avaliação da higrometria real em edifícios de habitação portugueses, o gráfico da figura 3.16 apresenta os resultados aí obtidos e a comparação com as duas classificações referidas.

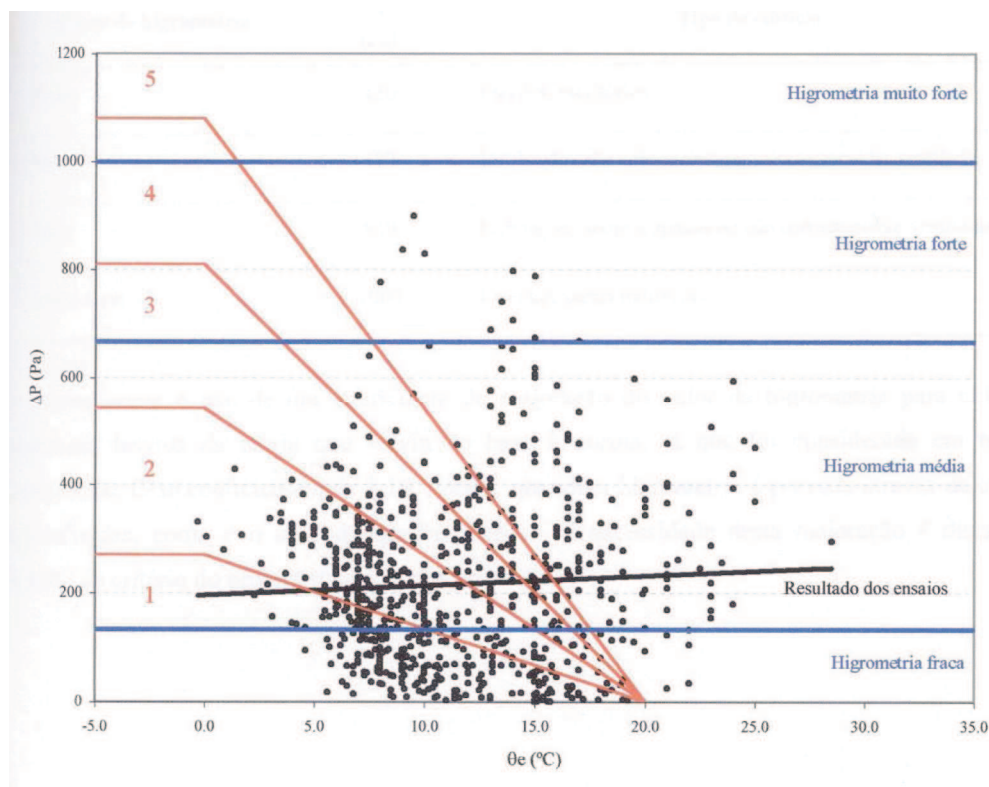


Fig.3.16 – Gráfico com medições de higrometria em edifícios portugueses (a preto) comparadas com as classes sugeridas pela EN ISO 13788 (a vermelho) e por Freitas e Pinto (a azul) [18].

Uma vez que o presente trabalho pretende avaliar o risco de condensações internas através do programa de cálculo CONDENSE 13788 [7], que por sua vez tem como base a norma EN ISO 13788 [6], optou-se pelo uso da classificação de higrometria citada nessa mesma norma.

Assim, inicialmente foi definida uma higrometria correspondente à classe 4 para todas as simulações. No entanto, para o correcto funcionamento do programa e consequente desenvolvimento deste estudo, não poderão ocorrer condensações superficiais o que, quando tal acontece, leva à obrigatoriedade da consideração de uma classe de higrometria mais baixa, até se anularem as condensações superficiais.

Na tabela 3.14 apresentam-se os valores da temperatura exterior e da classe 4 de higrometria considerados, para cada cidade em estudo. O gráfico da figura 3.17 representa a classe 4 de higrometria referente a cada cidade.

Tabela 3.14 – Valores da temperatura exterior e de higrometria – classe 4.

Classe 4	Bragança		Porto		Lisboa		Coimbra		Portalegre		P. Delgada	
	θ_e [°C]	Δv [g/m ³]	θ_e [°C]	Δv [g/m ³]	θ_e [°C]	Δv [g/m ³]	θ_e [°C]	Δv [g/m ³]	θ_e [°C]	Δv [g/m ³]	θ_e [°C]	Δv [g/m ³]
Janeiro	4,5	6,20	9,3	4,30	13,0	2,70	10,0	4,00	8,6	4,50	14,3	2,20
Fevereiro	5,9	5,70	10,1	4,00	13,5	2,60	11,0	3,60	9,1	4,30	13,9	2,50
Março	8,0	4,70	11,5	3,40	14,1	2,50	12,5	3,00	10,8	3,70	14,4	2,20
Abril	10,0	4,00	12,9	2,70	15,0	2,00	14,0	2,50	12,3	3,08	15,1	2,00
Maio	13,4	2,60	15,1	2,00	17,1	1,20	16,4	1,40	15,6	1,85	16,5	1,40
Junho	17,7	1,10	18,1	0,80	19,9	0,04	19,6	0,20	19,8	0,08	18,6	0,50
Julho	21,1	0,00	19,9	0,04	22,4	0,00	21,8	0,00	23,2	0,00	20,8	0,00
Agosto	20,8	0,00	19,8	0,08	23,1	0,00	21,8	0,00	23,4	0,00	22,0	0,00
Setembro	18,3	0,80	19,0	0,50	22,5	0,00	20,8	0,00	21,4	0,00	21,2	0,00
Outubro	13,1	2,70	16,2	1,65	19,5	0,20	17,4	1,10	16,5	1,40	19,0	0,50
Novembro	8,0	4,70	12,3	3,08	15,6	1,85	13,0	2,70	11,7	3,40	16,8	1,40
Dezembro	5,0	6,00	9,9	4,00	13,3	2,60	10,4	3,85	9,1	4,30	15,2	2,00

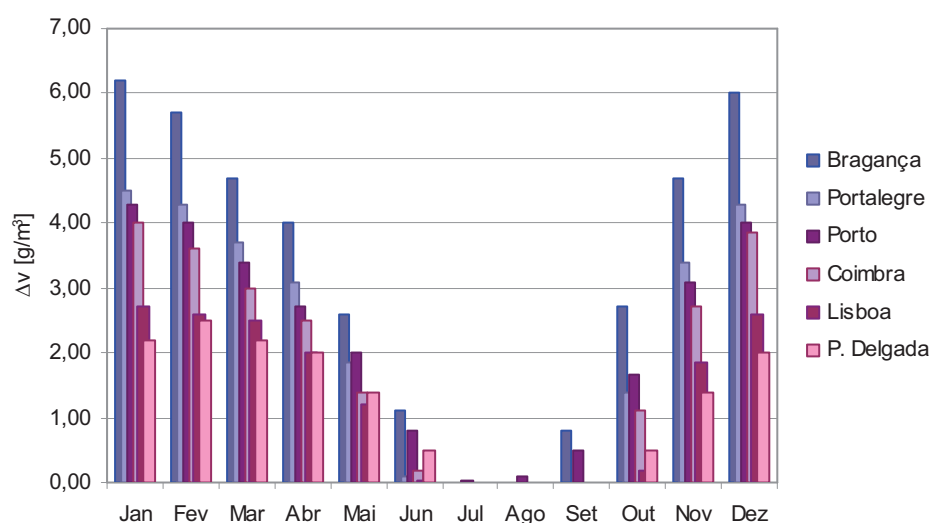


Fig.3.17 – Classe 4 de higrometria, para as diferentes cidades em estudo.

Atendendo à obrigatoriedade da não ocorrência de condensações superficiais, tal como acima indicado, houve necessidade de diminuir a classe de higrometria em certas situações. Assim, apresentam-se na tabela seguinte e no gráfico da figura 3.18, os valores da higrometria correspondentes à classe 3, para as diferentes cidades.

Tabela 3.15 – Valores da temperatura exterior e de higrometria – classe 3.

Classe 3	Bragança		Porto		Lisboa		Coimbra		Portalegre		P. Delgada	
	θ_e [°C]	Δv [g/m ³]	θ_e [°C]	Δv [g/m ³]	θ_e [°C]	Δv [g/m ³]	θ_e [°C]	Δv [g/m ³]	θ_e [°C]	Δv [g/m ³]	θ_e [°C]	Δv [g/m ³]
Janeiro	4,5	4,70	9,3	3,30	13,0	2,10	10,0	3,00	8,6	3,40	14,3	1,70
Fevereiro	5,9	4,30	10,1	3,00	13,5	2,00	11,0	2,70	9,1	3,30	13,9	1,80
Março	8,0	3,60	11,5	2,50	14,1	1,80	12,5	2,15	10,8	2,80	14,4	1,70
Abril	10,0	3,00	12,9	2,10	15,0	1,50	14,0	1,80	12,3	2,30	15,1	1,50
Maio	13,4	2,00	15,1	1,50	17,1	0,90	16,4	1,10	15,6	1,40	16,5	1,00
Junho	17,7	0,80	18,1	0,60	19,9	0,00	19,6	0,15	19,8	0,00	18,6	0,40
Julho	21,1	0,00	19,9	0,00	22,4	0,00	21,8	0,00	23,2	0,00	20,8	0,00
Agosto	20,8	0,00	19,8	0,00	23,1	0,00	21,8	0,00	23,4	0,00	22,0	0,00
Setembro	18,3	0,60	19,0	0,40	22,5	0,00	20,8	0,00	21,4	0,00	21,2	0,00
Outubro	13,1	2,10	16,2	1,30	19,5	0,15	17,4	0,80	16,5	1,10	19,0	0,40
Novembro	8,0	3,60	12,3	2,30	15,6	1,40	13,0	2,10	11,7	2,50	16,8	1,00
Dezembro	5,0	4,50	9,9	3,00	13,3	2,00	10,4	2,90	9,1	3,30	15,2	1,50

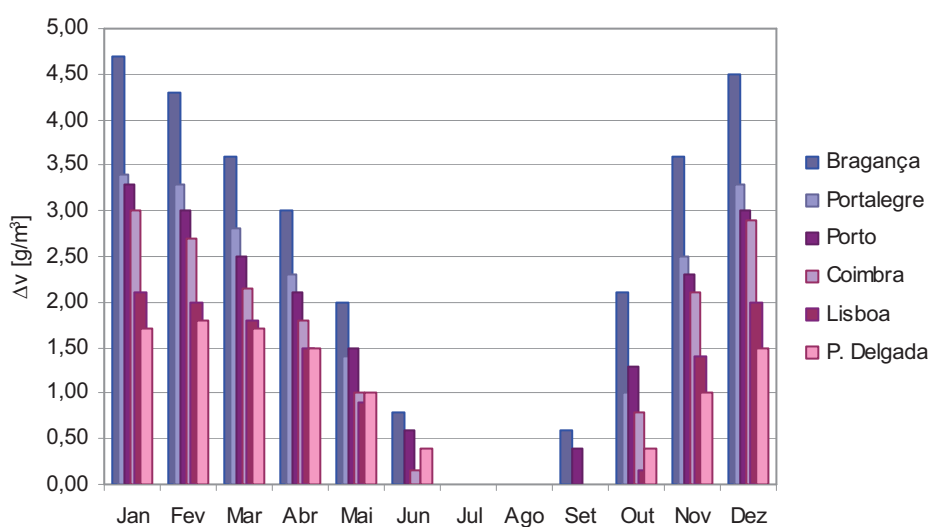


Fig.3.18 – Classe 3 de higrometria, para as diferentes cidades em estudo.

Uma vez que Bragança e Porto se destacam pelas temperaturas exteriores mais baixas, em certas condições teve de ser considerada uma higrometria classe 1 para Bragança e classe 2 para o Porto. São por isso também apresentados os respectivos valores de higrometria.

Tabela 3.16 – Valores da temperatura exterior e da classe 1 de higrometria para Bragança e da classe 2 para o Porto.

	Bragança Classe 1		Porto Classe 2	
	θ_e [°C]	Δv [g/m ³]	θ_e [°C]	Δv [g/m ³]
Janeiro	4,5	1,49	9,3	2,10
Fevereiro	5,9	1,30	10,1	2,00
Março	8,0	1,20	11,5	1,70
Abril	10,0	0,93	12,9	1,40
Maio	13,4	0,60	15,1	1,00
Junho	17,7	0,19	18,1	0,40
Julho	21,1	0,00	19,9	0,00
Agosto	20,8	0,00	19,8	0,00
Setembro	18,3	0,19	19,0	0,20
Outubro	13,1	0,65	16,2	0,85
Novembro	8,0	1,20	12,3	1,60
Dezembro	5,0	1,50	9,9	2,00

3.6. RESULTADOS

Em anexo encontram-se, para cada elemento construtivo, algumas das simulações efectuadas com o programa CONDENSE 13788 [7] e os respectivos resultados obtidos, destacando-se as simulações condicionantes, ou seja, simulações que conduzem a um maior risco de ocorrência de condensações internas.

Encontram-se também em anexo simulações que, de algum modo se destacam, como é o caso da parede simples com isolamento térmico pelo interior numa situação de higrometria constante; da parede com revestimento ETICS quando situada em Ponta Delgada; da parede dupla com isolamento térmico preenchendo totalmente a caixa-de-ar, situada em Portalegre e, numa situação de higrometria constante; da cobertura horizontal em terraço quando situada em Lisboa e Ponta Delgada e do dimensionamento da barreira pára-vapor para a cidade de Bragança e, por fim da cobertura metálica quando situada em Ponta Delgada.

4

ESTUDO DE SENSIBILIDADE

4.1. ENQUADRAMENTO

Actualmente existe uma preocupação crescente com a qualidade da envolvente dos edifícios, nomeadamente no que diz respeito ao comportamento higrotérmico.

Como referido no capítulo anterior, o comportamento higrotérmico de um edifício depende fortemente de parâmetros como a temperatura interior, o clima exterior, a higrometria, e igualmente do material e espessura do isolamento.

Sendo o objectivo deste trabalho a realização de simulações numéricas com o intuito de avaliar o comportamento dos edifícios face ao risco de condensações internas, sob diferentes solicitações, é de extrema importância a análise da influência de cada um dos parâmetros supracitados.

Uma vez que grande parte das variáveis intervenientes neste processo se encontram interligadas entre si, é necessário fixar algumas para que seja possível a avaliação individual da influência de uma determinada variável.

4.2. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS EXTERIORES

A análise da influência das condições climáticas exteriores no cálculo do risco de condensações internas passa por perceber o que acontece em cada uma das cidades em estudo.

As condições de simulação consideradas, afim de ser possível avaliar a influência deste parâmetro na ocorrência de condensações internas, encontram-se explícitas para cada elemento construtivo.

✓ Parede simples com isolamento térmico pelo interior

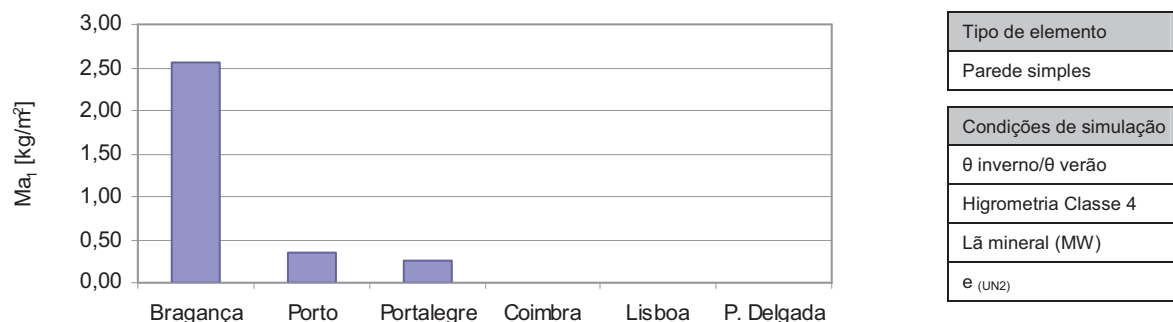


Fig.4.1 – Influência das condições climáticas exteriores na ocorrência de condensações internas numa parede simples, com isolamento pelo interior.

Da observação do gráfico da figura 4.1, constata-se que:

- Bragança é a cidade que apresenta maior risco de condensações no interior da parede, seguindo-se Porto e Portalegre;
- Em Coimbra, Lisboa e Ponta Delgada não se regista qualquer fluxo condensado acumulado.

Uma localização geográfica é caracterizada por propriedades como a temperatura e a humidade relativa, entre outras. Para melhor entender a relação entre a localização geográfica e o risco de ocorrência de condensações internas, o gráfico da figura 4.2 mostra a relação entre o fluxo condensado acumulado máximo e a temperatura exterior média anual, inerente a cada cidade.

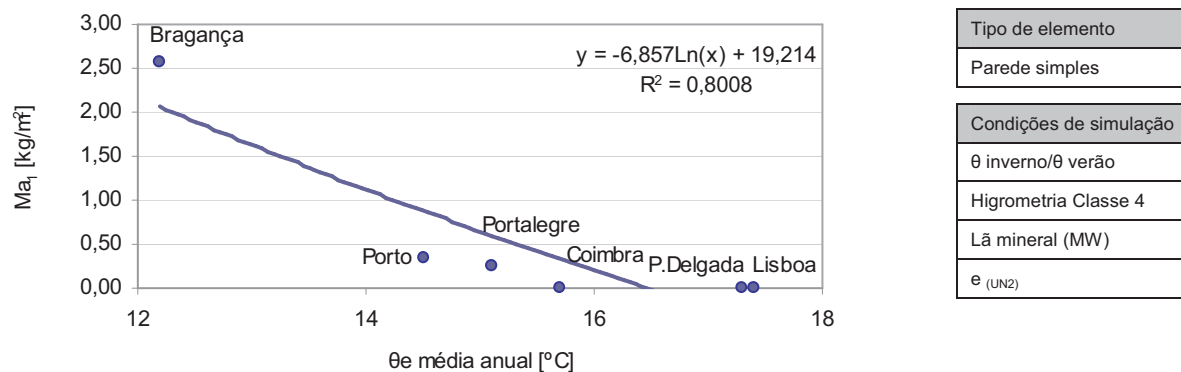


Fig.4.2 – Relação entre a temperatura exterior média anual e o fluxo condensado acumulado máximo registado numa parede simples, com isolamento pelo interior.

O gráfico da figura 4.2 evidencia o já verificado na figura 4.1:

- A cidade de Bragança, sendo a que apresenta temperaturas exteriores mais baixas ao longo do ano, é a cidade que apresenta maior risco de ocorrência de condensações no interior da parede, seguida de Porto e Portalegre;

- Coimbra, Lisboa e Ponta Delgada, caracterizadas por temperaturas exteriores mais elevadas, não apresentam qualquer risco de condensações internas;
- A correlação dos valores obtidos poderá ser expressa através de uma função logarítmica, apresentando porém um coeficiente de correlação baixo.

✓ *Parede simples com isolamento térmico pelo exterior – ETICS*

O gráfico da figura 4.3 demonstra a influência da localização geográfica no cálculo da espessura da camada de ar de difusão equivalente máxima (s_d) do revestimento exterior de uma parede com o sistema ETICS, de modo a não ocorrerem condensações internas.

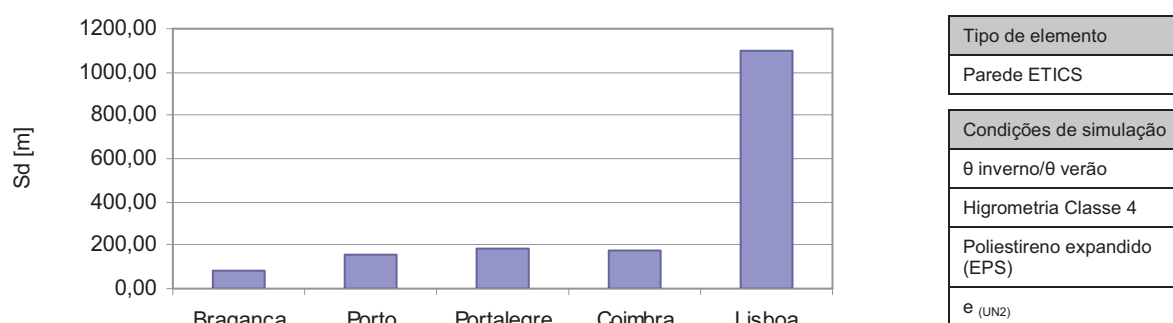


Fig.4.3 – Influência das condições climáticas exteriores no dimensionamento do revestimento exterior de uma parede ETICS.

Da observação do gráfico da figura anterior, conclui-se que:

- Ponta Delgada destaca-se por permitir o uso de um revestimento muito impermeável, sem que nunca ocorram condensações internas. A norma EN ISO 13788 [6], sugere o valor do factor de resistência à difusão de vapor de água (μ) de 100 000, para efeitos de cálculo para materiais que efectivamente apresentam um valor infinito de μ . Para este valor de μ Ponta Delgada não apresenta qualquer risco de condensações internas, não se encontrando assim representada no gráfico;
- A cidade de Lisboa de entre as restantes cidades destaca-se por permitir o uso de um revestimento mais impermeável, que se traduz num valor de s_d maior, sem ocorrerem condensações internas, seguida de Portalegre.
- Bragança será a cidade em que não será possível utilizar um revestimento tão impermeável, sem que hajam condensações internas.

À semelhança da análise efectuada para o elemento anterior, o gráfico da figura 4.4 relaciona a temperatura média anual com a espessura da camada de ar de difusão equivalente máxima (s_d) do revestimento exterior.

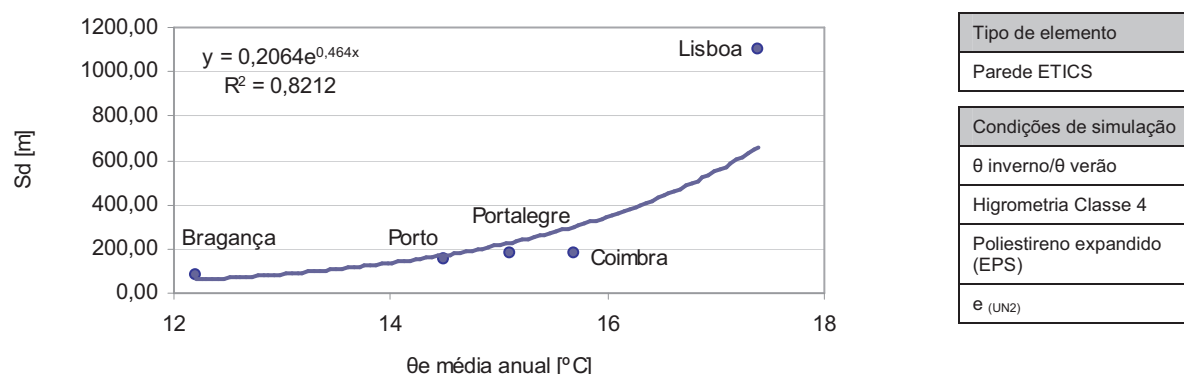


Fig.4.4 – Influência da temperatura exterior média anual no dimensionamento do revestimento exterior de uma parede ETICS.

De igual modo,

- À medida que aumenta a temperatura exterior média anual, aumenta também a espessura da camada de ar de difusão equivalente máxima (s_d) permitida, ou seja diminui a permeabilidade do revestimento exterior;
- Portalegre, relativamente a Coimbra, apesar de ter uma temperatura exterior média anual mais baixa, permite o uso de um revestimento um pouco mais impermeável, sendo praticamente mínima a diferença;
- A função exponencial representada no gráfico garante um bom ajuste aos resultados obtidos, excepto para a cidade de Lisboa.

✓ *Parede dupla com isolamento térmico preenchendo totalmente a caixa-de-ar*

Relativamente a este elemento construtivo, numa fase inicial pouco se pode concluir. Apenas que a cidade de Bragança será a que poderá apresentar maior risco de condensações internas, uma vez que, com base nas simulações efectuadas, a parede dupla com isolamento térmico preenchendo totalmente a caixa-de-ar, apenas apresenta condensações no seu interior para uma situação: cidade de Bragança, perfil de temperatura θ inverno/ θ verão, classe de higrometria 4 e lã mineral como isolamento e espessura correspondente ao nível de qualidade térmica N2. Nas restantes cidades não se registaram condensações internas para as condições testadas.

✓ *Cobertura horizontal em terraço com isolamento exterior*

Considerando a cobertura plana tradicional sem a existência de barreira pára-vapor e as condições de simulação indicadas, obtém-se o gráfico da figura 4.5.

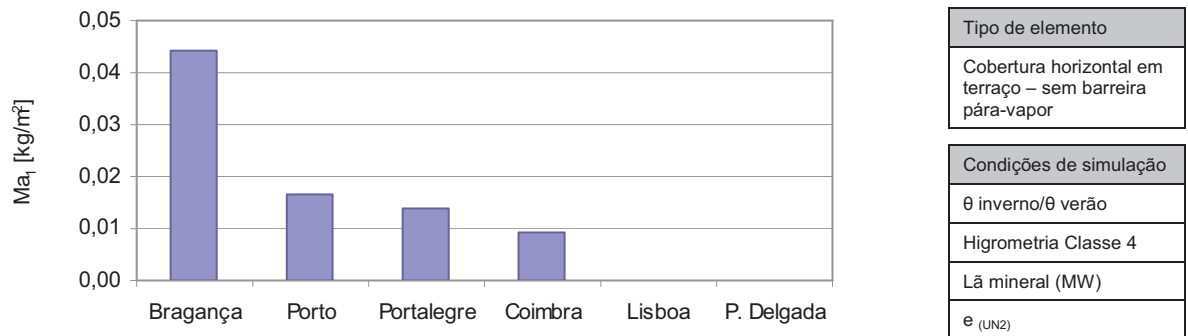


Fig.4.5 – Influência das condições climáticas exteriores na ocorrência de condensações internas numa cobertura plana tradicional, sem barreira pára-vapor.

Observando o gráfico da figura 4.5 conclui-se que:

- Bragança é a cidade que apresenta maior risco de ocorrência de condensações internas, seguida de Porto, Portalegre e Coimbra;
- Lisboa e Ponta Delgada não apresentam qualquer risco.

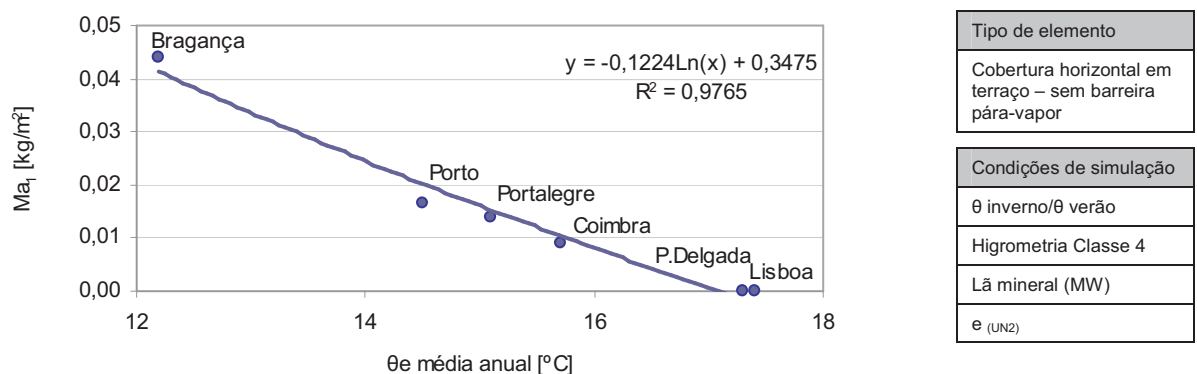


Fig.4.6 – Relação entre a temperatura exterior média anual e o fluxo condensado acumulado máximo, registado numa cobertura plana tradicional, sem barreira pára-vapor.

O gráfico da figura 4.6 reforça a conclusão já mencionada e demonstra que:

- Quanto maior a temperatura exterior média anual, menor o risco de ocorrência de condensações no interior da cobertura considerada;
- A função logarítmica apresentada garante em geral um bom ajuste aos resultados obtidos.

✓ Cobertura metálica

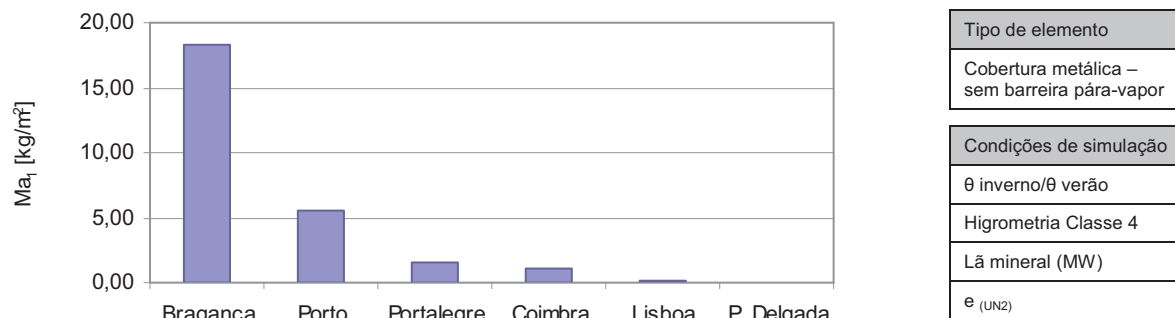


Fig.4.7 – Influência das condições climáticas exteriores na ocorrência de condensações internas numa cobertura metálica, sem barreira pára-vapor.

Analisando o gráfico da figura 4.7, constata-se que:

- Bragança destaca-se de novo por apresentar maior risco de condensações internas;
- Ponta Delgada não apresenta qualquer risco.

O gráfico da figura 4.8 mostra a relação entre o fluxo condensado acumulado máximo e a temperatura exterior média anual, inerente a cada cidade.

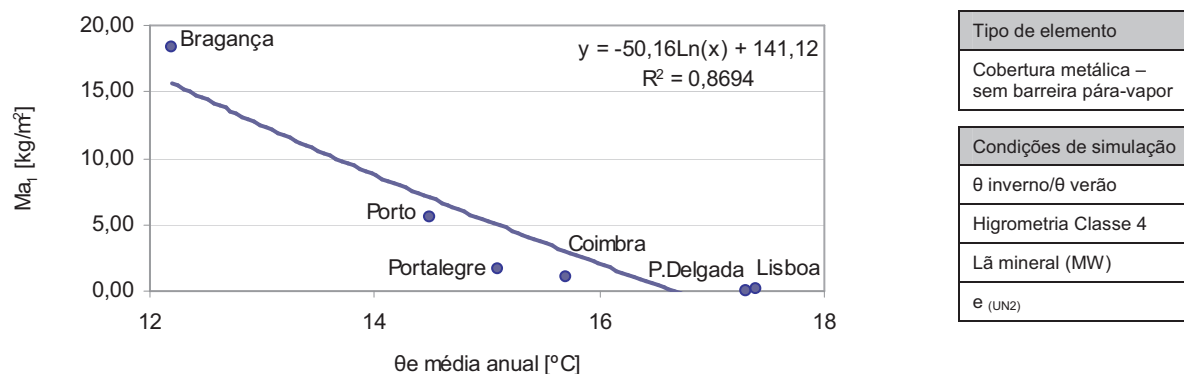


Fig.4.8 – Relação entre a temperatura exterior média anual e o fluxo condensado acumulado máximo, registado numa cobertura metálica, sem barreira pára-vapor.

Da observação do gráfico da figura 4.8, conclui-se que:

- À semelhança dos elementos construtivos já analisados a cobertura metálica apresenta maior risco de condensações no seu interior, quanto menor for a temperatura exterior média anual;
- A correlação entre a temperatura exterior média anual e o fluxo condensado acumulado poderá ser expresso pela função logarítmica representada, apresentando, no entanto, um factor de correlação baixo.

Assim, procedendo a uma análise global de todos os elementos construtivos em estudo, constata-se que:

- Bragança é a cidade que apresenta maior risco de ocorrência de condensações internas, seguida da cidade do Porto, tal como seria de esperar uma vez que são as cidades que apresentam valores de temperatura mais baixos ao longo do ano;
- Portalegre apesar de ter uma temperatura baixa nos meses de Inverno, no Verão regista um aumento significativo da mesma, facilitando a secagem;
- Ponta Delgada apresenta um risco mínimo, praticamente nulo de ocorrência deste fenómeno. Apesar de apresentar pressão de vapor elevada, é a cidade com temperaturas mais elevadas, na estação de aquecimento, reduzindo assim a possibilidade de ocorrência de condensações no interior dos elementos construtivos.

4.3. TEMPERATURA INTERIOR

Como referido no capítulo anterior, para o correcto funcionamento do programa e consequente desenvolvimento deste estudo, não poderão ocorrer condensações superficiais, o que, quando tal acontece, leva à obrigatoriedade da consideração de uma classe de higrometria mais baixa, até que estas se anulem.

Deste modo, iniciando-se sempre o estudo com uma higrometria classe 4, a tabela 4.1 evidencia as alterações da classe de higrometria a considerar, para cada perfil de temperatura interior, de forma a não surgirem condensações superficiais. As alterações da classe de higrometria são comuns a todos os elementos construtivos analisados.

Tabela 4.1 – Alterações a efectuar na classe de higrometria de modo a não ocorrerem condensações superficiais.

BRAGANÇA	classe 4	alteração de classe
$\theta_i = \theta_e + 3$	Cond. Sup.	→ classe 1
θ inverno/ θ verão	✓	

PORTO	classe 4	alteração de classe
$\theta_i = \theta_e + 3$	Cond. Sup.	→ classe 3
θ inverno/ θ verão	✓	

COIMBRA	classe 4	alteração de classe
$\theta_i = \theta_e + 3$	Cond. Sup.	→ classe 3
θ inverno/ θ verão	✓	

PORTALEGRE	classe 4	alteração de classe
$\theta_i = \theta_e + 3$	Cond. Sup.	→ classe 3
θ inverno/ θ verão	✓	

LISBOA	classe 4
$\theta_i = \theta_e + 3$	✓
θ inverno/ θ verão	✓

PONTA DELGADA	classe 4
$\theta_i = \theta_e + 3$	✓
θ inverno/ θ verão	✓

Assim, o estudo de avaliação da influência da temperatura interior na ocorrência de condensações internas será efectuado para as cidades do Porto, Portalegre e Coimbra, que possibilitam a consideração de uma classe de higrometria 3 para ambos os perfis de temperatura interior.

✓ Parede simples com isolamento térmico pelo interior

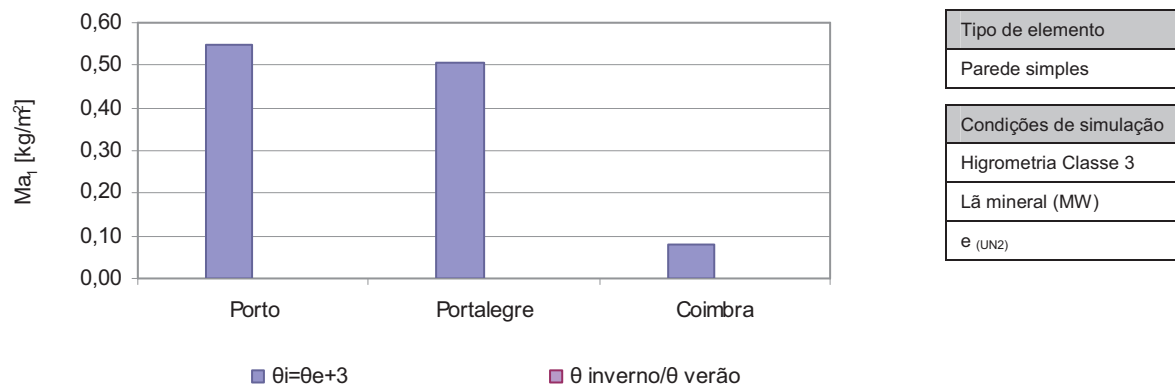


Fig.4.9 – Influência da temperatura interior na ocorrência de condensações internas numa parede simples, com isolamento pelo interior.

Observando o gráfico da figura 4.9, conclui-se que:

- O perfil de temperatura $\theta_i = \theta_e + 3$ apresenta claramente maior risco de condensações internas para as cidades representadas, não se registando qualquer fluxo condensado acumulado quando considerado o perfil de temperatura θ inverno/ θ verão.

✓ Parede simples com isolamento térmico pelo exterior – ETICS

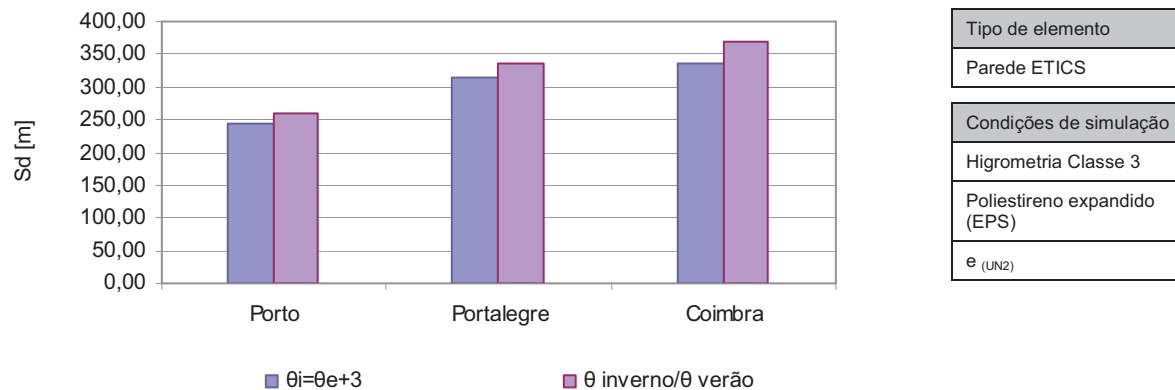


Fig.4.10 – Influência da temperatura interior no dimensionamento do revestimento exterior de uma parede ETICS.

Como referido anteriormente, o objectivo deste estudo relativamente à parede revestida a ETICS é determinar qual a espessura da camada de ar de difusão equivalente (s_d) máxima do revestimento exterior, de modo a não ocorrerem condensações internas.

Assim, pela observação do gráfico da figura 4.10, constata-se que:

- O perfil de temperatura interior θ inverno/ θ verão possibilita a utilização de um revestimento exterior mais impermeável, que se traduz numa espessura da camada de ar de difusão equivalente maior, tornando-se assim o perfil $\theta_i=\theta_e+3$ o cenário mais gravoso.

✓ Cobertura horizontal em terraço com isolamento exterior

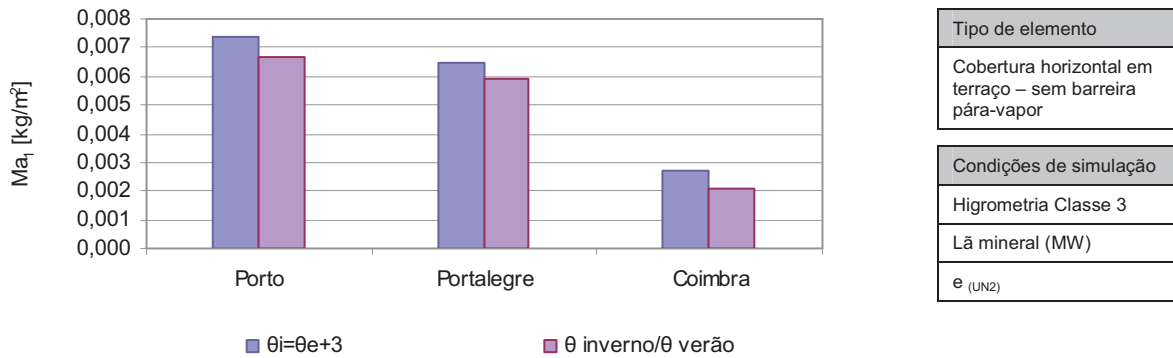


Fig.4.11 – Influência da temperatura interior na ocorrência de condensações internas numa cobertura plana tradicional, sem barreira pára-vapor.

Observando o gráfico da figura 4.11, conclui-se que:

- O perfil de temperatura $\theta_i=\theta_e+3$ conduz a um maior risco de condensações internas.

✓ Cobertura metálica

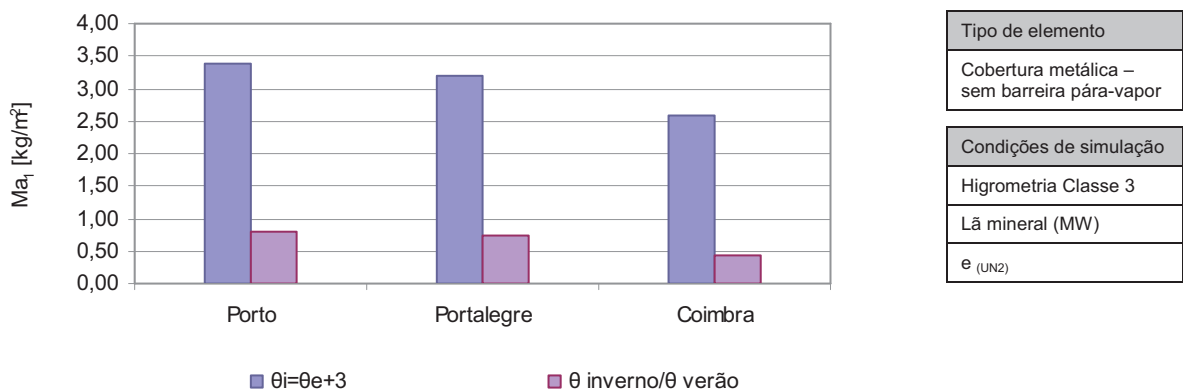


Fig.4.12 – Influência da temperatura interior na ocorrência de condensações internas numa cobertura metálica, sem barreira pára-vapor.

Pela observação do gráfico da figura 4.12, constata-se que:

- Quando considerado o perfil de temperatura $\theta_i=\theta_e+3$ o risco de condensações internas aumenta significativamente.

Procedendo a uma análise global de todos os elementos construtivos em estudo, conclui-se que:

- O perfil de temperatura interior definido como $\theta_i = \theta_e + 3$ conduz a um maior risco de ocorrência de condensações no interior dos elementos construtivos, relativamente ao perfil de temperatura θ inverno/ θ verão, havendo mais discrepância de resultados na parede simples com isolamento pelo interior e na cobertura metálica.

4.4. HIGROMETRIA

De modo a ser possível perceber melhor o comportamento de um determinado elemento construtivo face à variação da higrometria, procedeu-se à simulação da parede simples com isolamento térmico pelo interior para uma situação de higrometria constante, tendo sempre em vista a necessidade da não ocorrência de condensações superficiais.

O gráfico da figura 4.13 compara os resultados obtidos utilizando uma higrometria variável e uma higrometria constante.

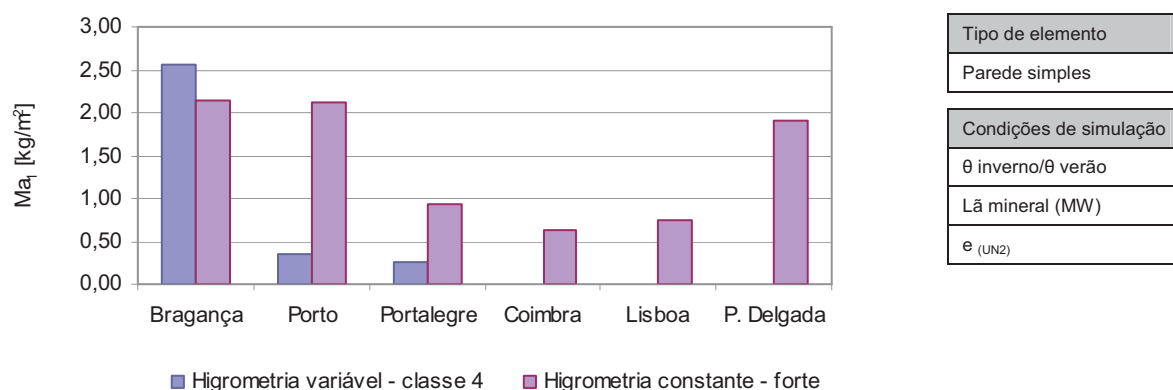


Fig.4.13 – Influência da higrometria na ocorrência de condensações internas numa parede simples, com isolamento pelo interior.

Assim,

- À exceção da cidade de Bragança, a consideração de uma higrometria constante forte, comparativamente com uma higrometria variável correspondente à classe 4, resulta num maior risco de condensações no interior da parede;
- A consideração de uma higrometria constante altera a correlação, que se verificava anteriormente numa situação de higrometria variável, entre a temperatura exterior (θ_e) e o fluxo condensado acumulado (Ma_1). Cidades mais húmidas, como é o caso de Ponta Delgada, apresentam agora risco de ocorrência de condensações internas.

4.5. IMPLICAÇÕES DA OCORRÊNCIA DE CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

Como referido anteriormente para levar a cabo este estudo, através do programa CONDENSE 13788 [7], é imperativo que não ocorram condensações superficiais, o que leva à necessidade de alteração da classe de higrometria. É possível assim, proceder a uma análise conjunta da temperatura interior e da higrometria, tentando perceber, perante determinada situação, qual dos parâmetros contribuirá mais para a ocorrência de condensações internas.

✓ Parede simples com isolamento térmico pelo interior

Tabela 4.2 – Alterações a efectuar na classe de higrometria de modo a não ocorrerem condensações superficiais na parede simples com isolamento pelo interior e respectivo fluxo condensado acumulado.

BRAGANÇA	Ma ₁ [kg/m ²]	
	classe 1	classe 4
$\theta_i = \theta_e + 3$	0,0047	Cond. Sup.
θ inverno/ θ verão	-	2,5630

COIMBRA	Ma ₁ [kg/m ²]	
	classe 3	classe 4
$\theta_i = \theta_e + 3$	0,0793	Cond. Sup.
θ inverno/ θ verão	-	0,0000

LISBOA	Ma ₁ [kg/m ²]	
	classe 4	
$\theta_i = \theta_e + 3$	0,0000	
θ inverno/ θ verão	0,0000	

PORTO	Ma ₁ [kg/m ²]	
	classe 3	classe 4
$\theta_i = \theta_e + 3$	0,5495	Cond. Sup.
θ inverno/ θ verão	-	0,3424

PORTALEGRE	Ma ₁ [kg/m ²]	
	classe 3	classe 4
$\theta_i = \theta_e + 3$	0,5064	Cond. Sup.
θ inverno/ θ verão	-	0,2607

PONTA DELGADA	Ma ₁ [kg/m ²]	
	classe 4	
$\theta_i = \theta_e + 3$	0,0000	
θ inverno/ θ verão	0,0000	

Os resultados obtidos permitem constatar que para a cidade de Bragança, com um perfil de temperatura interior que seria mais favorável à ocorrência de condensações internas ($\theta_i = \theta_e + 3$) o fluxo condensado acumulado é significativamente menor comparativamente com o perfil θ inverno/ θ verão, uma vez que afim de evitar condensações superficiais quando considerado o primeiro perfil a classe de higrometria terá de ser obrigatoriamente a classe 1. Assim, a diminuição da classe de higrometria sobrepõe-se à consideração de uma temperatura interior mais baixa.

O mesmo não acontece quando simulado para as restantes cidades, uma vez que a diferença de classes de higrometria considerada não é tão acentuada, sobrepondo-se assim o aumento da temperatura interior ao aumento da higrometria.

✓ Parede simples com isolamento térmico pelo exterior – ETICS

No que diz respeito à parede com o sistema ETICS como se pode observar pelos resultados expressos na tabela seguinte, o aumento da higrometria sobrepõe-se sempre ao aumento da temperatura interior, ou seja, com uma higrometria mais elevada não é permitido o uso de um revestimento tão impermeável. No caso de Lisboa, como é possibilitado o uso da mesma classe de higrometria sem o aparecimento de condensações superficiais, como seria de esperar a consideração do perfil de temperatura interior θ inverno/ θ verão possibilita o uso de um revestimento exterior mais impermeável.

Tabela 4.3 – Alterações a efectuar na classe de higrometria de modo a não ocorrerem condensações superficiais na parede ETICS e respectivo dimensionamento do revestimento exterior.

BRAGANÇA	Sd [m]	
	classe 1	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	943,60	Cond. Sup.
θ inverno/ θ verão	-	81,12

COIMBRA	Sd [m]	
	classe 3	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	336,75	Cond. Sup.
θ inverno/ θ verão	-	179,45

LISBOA	Sd [m]
	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	963,50
θ inverno/ θ verão	1097,60

PORTO	Sd [m]	
	classe 3	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	242,82	Cond. Sup.
θ inverno/ θ verão	-	157,02

PORTALEGRE	Sd [m]	
	classe 3	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	313,20	Cond. Sup.
θ inverno/ θ verão	-	184,92

PONTA DELGADA	Sd [m]
	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	*
θ inverno/ θ verão	*

* Nunca ocorrem condensações internas.

✓ Cobertura horizontal em terraço com isolamento exterior

Tabela 4.4 – Alterações a efectuar na classe de higrometria de modo a não ocorrerem condensações superficiais na cobertura horizontal em terraço e respectivo fluxo condensado acumulado.

BRAGANÇA	Ma ₁ [kg/m ²]	
	classe 1	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	0,0009	Cond. Sup.
θ inverno/ θ verão	-	0,0441

COIMBRA	Ma ₁ [kg/m ²]	
	classe 3	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	0,0027	Cond. Sup.
θ inverno/ θ verão	-	0,0091

LISBOA	Ma ₁ [kg/m ²]
	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	0,0000
θ inverno/ θ verão	0,0000

PORTO	Ma ₁ [kg/m ²]	
	classe 3	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	0,0074	Cond. Sup.
θ inverno/ θ verão	-	0,0165

PORTALEGRE	Ma ₁ [kg/m ²]	
	classe 3	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	0,0065	Cond. Sup.
θ inverno/ θ verão	-	0,0140

PONTA DELGADA	Ma ₁ [kg/m ²]
	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	0,0000
θ inverno/ θ verão	0,0000

Neste elemento, qualquer que seja a diferença de classes de higrometria consideradas, o aumento da higrometria sobrepõe-se sempre ao aumento da temperatura interior.

✓ Cobertura metálica

Tabela 4.5 – Alterações a efectuar na classe de higrometria de modo a não ocorrerem condensações superficiais na cobertura metálica e respectivo fluxo condensado acumulado.

BRAGANÇA	Ma ₁ [kg/m ²]	
	classe 1	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	0,1478	Cond. Sup.
θ inverno/ θ verão	-	18,2709

PORTO	Ma ₁ [kg/m ²]	
	classe 3	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	3,3930	Cond. Sup.
θ inverno/ θ verão	-	5,5464

COIMBRA	Ma ₁ [kg/m ²]	
	classe 3	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	2,5790	Cond. Sup.
θ inverno/ θ verão	-	1,0344

PORTALEGRE	Ma ₁ [kg/m ²]	
	classe 3	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	3,1882	Cond. Sup.
θ inverno/ θ verão	-	1,6013

LISBOA	Ma ₁ [kg/m ²]
	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	0,1245
θ inverno/ θ verão	0,1194

PONTA DELGADA	Ma ₁ [kg/m ²]
	classe 4
$\theta_i = \theta_{e+3}$	0,0000
θ inverno/ θ verão	0,0000

No caso da cobertura metálica, quando simulada em Bragança e no Porto o aumento da classe de higrometria sobrepõe-se ao aumento da temperatura interior, com mais significado na cidade de Bragança. Quando situada em Coimbra e Portalegre acontece o contrário, ou seja, apesar da consideração de uma higrometria mais baixa, o que seria favorável à secagem do elemento, o fluxo condensado acumulado aumenta. No caso de Lisboa, como é possibilitado o uso da mesma classe de higrometria sem o aparecimento de condensações superficiais, como seria de esperar o fluxo condensado acumulado máximo regista-se aquando da consideração do perfil de temperatura interior $\theta_i = \theta_{e+3}$.

4.6. MATERIAL DE ISOLAMENTO TÉRMICO

✓ Parede simples com isolamento térmico pelo interior

Para o estudo da parede simples com isolamento térmico pelo interior foram considerados dois tipos de isolamento, lã mineral (MW) e poliestireno extrudido (XPS).

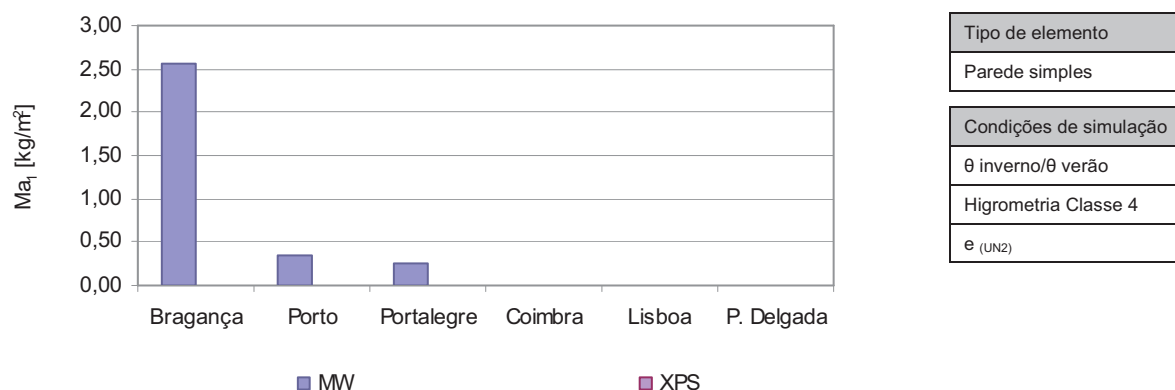


Fig.4.14 – Influência do material de isolamento na ocorrência de condensações internas numa parede simples, com isolamento pelo interior.

Observando o gráfico da figura 4.14 é possível concluir o seguinte:

- Utilizando XPS como isolamento térmico, este elemento construtivo não apresenta, em nenhuma das localizações geográficas, qualquer risco de condensações internas, o que seria de esperar, comparativamente com MW, uma vez que o poliestireno extrudido apresenta um valor de factor de resistência à difusão de vapor de água (μ) mais elevado ($\mu=150$), que se traduz num coeficiente de permeabilidade (π) baixo, o que, colocado pelo interior diminui o risco de ocorrência de condensações internas.

✓ *Parede simples com isolamento térmico pelo exterior – ETICS*

Relativamente à parede simples com isolamento térmico pelo exterior (ETICS), apesar de haver situações em que é empregado outro tipo de isolamento, para o desenvolvimento deste estudo apenas foi considerado poliestireno expandido (EPS) como isolamento térmico.

✓ *Parede dupla com isolamento térmico preenchendo totalmente a caixa-de-ar*

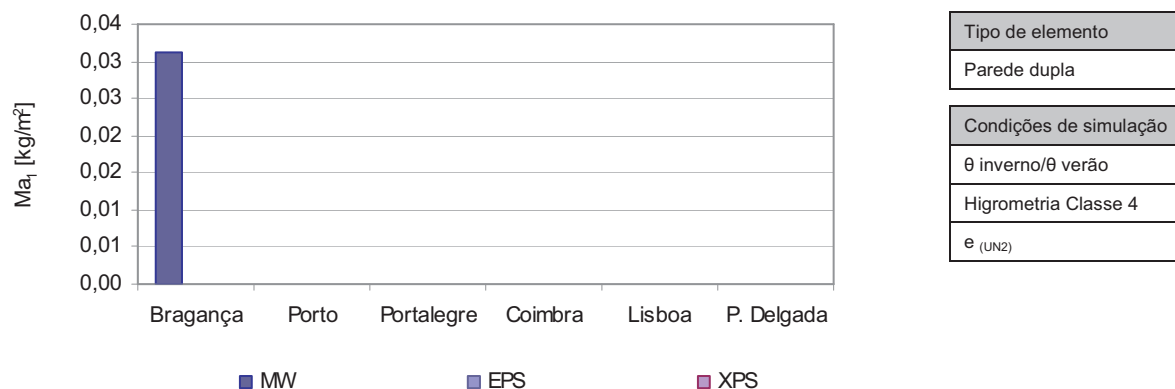


Fig.4.15 – Influência do material de isolamento na ocorrência de condensações internas numa parede dupla.

Tal como descrito no ponto 4.2, a parede dupla com isolamento térmico preenchendo totalmente a caixa-de-ar, apenas apresenta risco de condensações internas para uma situação, em que o isolamento térmico é lã mineral. O gráfico da figura 4.15 evidencia o resultado obtido.

✓ Cobertura horizontal em terraço com isolamento exterior

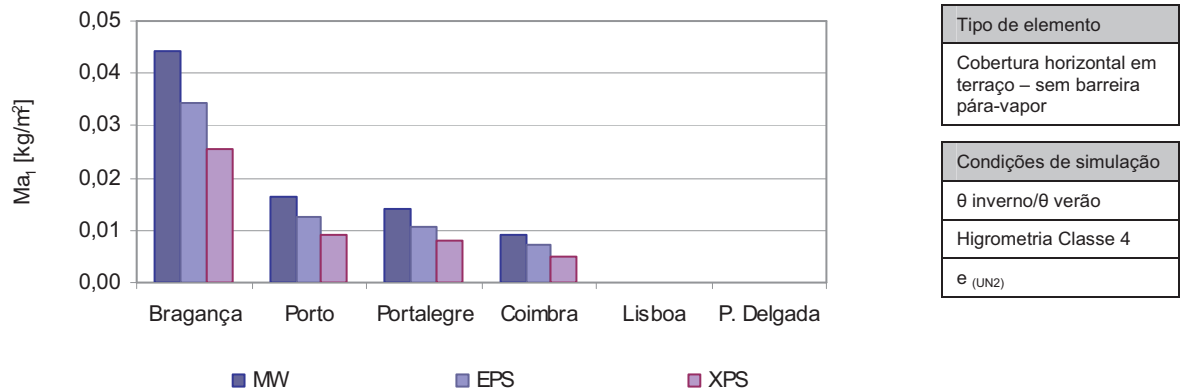


Fig.4.16 – Influência do material de isolamento na ocorrência de condensações internas numa cobertura plana tradicional, sem barreira pára-vapor.

Da observação do gráfico da figura 4.16, pode-se concluir que:

- Tendo MW como isolamento térmico, o risco de condensações no interior da cobertura aumenta significativamente, diminuindo aquando do uso de poliestireno expandido;
- Com XPS, o risco é ainda menor.

✓ Cobertura metálica

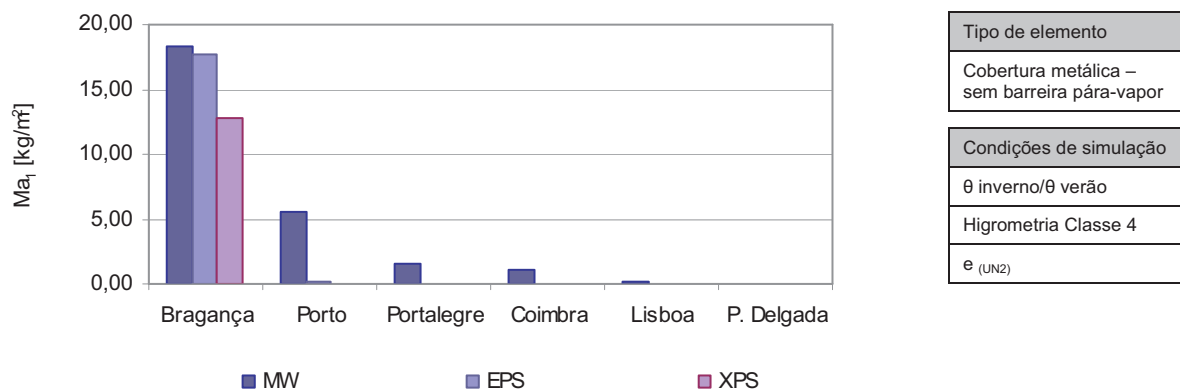


Fig.4.17 – Influência do material de isolamento na ocorrência de condensações internas numa cobertura metálica, sem barreira pára-vapor.

Observando o gráfico da figura 4.17, constata-se que:

- À semelhança dos elementos construtivos já analisados, utilizando MW como isolamento térmico o risco de condensações internas aumenta;
- O uso de EPS ou XPS diminui o risco de condensações internas.

Procedendo a uma análise global de todos os elementos construtivos em estudo, constata-se que:

- À medida que o factor de resistência à difusão de vapor de água (μ) do material de isolamento térmico aumenta, diminuindo assim o coeficiente de permeabilidade (π), melhor é a solução construtiva face ao aparecimento de condensações internas.

4.7. ESPESSURA DE ISOLAMENTO TÉRMICO

✓ Parede simples com isolamento térmico pelo interior

Com o intuito de determinar a influência da espessura do isolamento térmico de uma parede simples com isolamento pelo interior, relativamente ao risco de condensações internas, considerou-se lã mineral como isolamento e perfil de temperatura interior θ inverno/ θ verão.

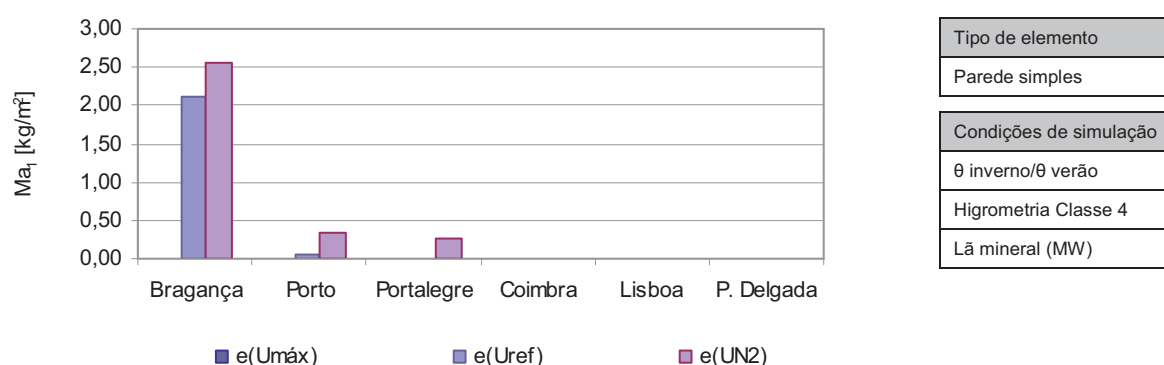


Fig.4.18 – Influência da espessura de isolamento na ocorrência de condensações internas numa parede simples com isolamento pelo interior.

Observando o gráfico de figura 4.18, constata-se que:

- Quanto maior a espessura de isolamento térmico, maior o risco de ocorrência de condensações internas, o que vai de encontro ao estudo desenvolvido por Aelenei e Henriques [19] que conclui que o reforço do isolamento pelo interior acarreta maior risco de condensações internas.

✓ Parede simples com isolamento térmico pelo exterior – ETICS

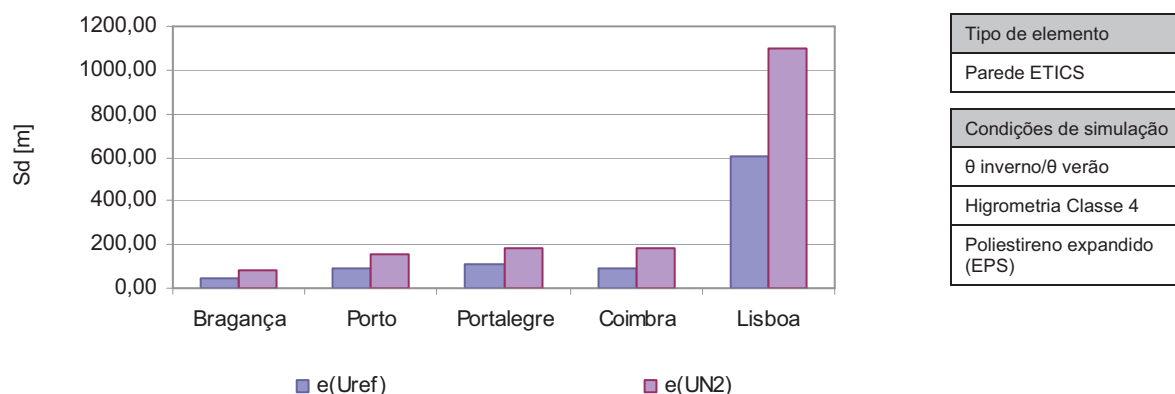


Fig.4.19 – Influência da espessura de isolamento térmico no dimensionamento do revestimento exterior de uma parede ETICS.

Considerando um perfil de temperatura θ inverno/ θ verão conclui-se que:

- Com maior espessura de isolamento térmico, é-nos permitido o uso de um revestimento exterior mais impermeável (valor de π mais baixo e valor de s_d maior), sem risco de ocorrerem condensações no interior do elemento.

✓ Parede dupla com isolamento térmico preenchendo totalmente a caixa-de-ar

Como referido no ponto 4.2, este elemento construtivo apresenta apenas condensações no seu interior quando a espessura do isolamento é a correspondente ao nível de qualidade térmica N2, que equivale à maior espessura em simulação.

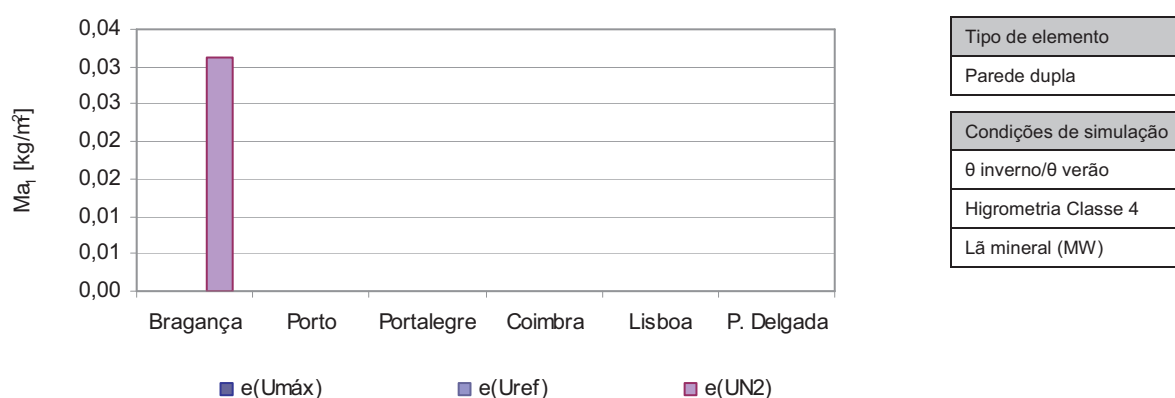


Fig.4.20 – Influência da espessura de isolamento térmico na ocorrência de condensações internas numa parede dupla.

Assim, verifica-se que:

– Quanto maior a espessura de isolamento térmico, equivalente à espessura $e(U_{N2})$, maior o risco de ocorrência de condensações no interior da parede dupla, o que teoricamente não seria de esperar. No entanto, baseando-se o programa CONDENSE 13788 [7] no método de Glaser e não sendo este um método linear, tal pode de facto ocorrer. Nestas situações é necessário proceder a um estudo mais aprofundado para avaliar de facto a influência da espessura de isolamento no risco de ocorrência de condensações internas.

✓ Cobertura horizontal em terraço com isolamento exterior

Tabela 4.6 – Matriz de influência da espessura de isolamento numa cobertura plana tradicional, sem barreira pára-vapor, perfil de temperatura interior θ inverno/ θ verão e higrometria classe 4.

Ma_1 [kg/m ²]	MW			EPS			XPS		
	$e(U_{m\acute{a}x})$	$e(U_{ref})$	$e(U_{N2})$	$e(U_{m\acute{a}x})$	$e(U_{ref})$	$e(U_{N2})$	$e(U_{m\acute{a}x})$	$e(U_{ref})$	$e(U_{N2})$
Bragança	0,0392	0,0434	0,0441	0,0376	0,0359	0,0344	0,0350	0,0287	0,0257
Porto	0,0127	0,0158	0,0165	0,0121	0,0131	0,0126	0,0113	0,0100	0,0090
Portalegre	0,0114	0,0136	0,0140	0,0108	0,0112	0,0108	0,0102	0,0088	0,0080
Coimbra	0,0060	0,0087	0,0091	0,0058	0,0073	0,0071	0,0056	0,0058	0,0051
Lisboa	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
P. Delgada	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

→ Espessuras de isolamento térmico que conduzem a um maior risco de condensações internas.

Na tabela 4.6, encontram-se sombreadas as espessuras que conduzem a um maior risco de condensações no interior de uma cobertura plana tradicional, sem a existência de uma barreira pára-vapor.

Assim, conclui-se que:

- Utilizando lã mineral como isolamento térmico, à semelhança do que ocorre no elemento anterior, quanto maior a espessura, maior o risco de condensações internas;
- Quando os materiais de isolamento são poliestireno expandido ou poliestireno extrudido, não existe uma relação tão directa e linear. Mais uma vez, tal pode ser explicado pelo facto deste estudo se basear num método não linear.

✓ Cobertura metálica

Tabela 4.7 – Matriz de influência da espessura de isolamento numa cobertura metálica, sem barreira pára-vapor, perfil de temperatura interior θ inverno/ θ verão, e higrometria classe 4.

Ma_1 [kg/m ²]	MW			EPS			XPS		
	$e(U_{m\acute{a}x})$	$e(U_{ref})$	$e(U_{N2})$	$e(U_{m\acute{a}x})$	$e(U_{ref})$	$e(U_{N2})$	$e(U_{m\acute{a}x})$	$e(U_{ref})$	$e(U_{N2})$
Bragança	4,8137	17,6451	18,2709	0,5033	16,4941	17,7345	0,2084	15,6378	12,8059
Porto	2,1746	1,8650	5,5464	0,2815	0,1119	0,0811	0,1173	0,0419	0,0289
Portalegre	2,0266	1,7411	1,6013	0,2608	0,1027	0,0740	0,1076	0,0374	0,0253
Coimbra	1,3077	1,1255	1,0344	0,2310	0,0734	0,0514	0,1001	0,0278	0,0185
Lisboa	0,1344	0,1256	0,1194	0,0214	0,0058	0,0032	0,0077	0,0011	0,0003
P. Delgada	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

→ Espessuras de isolamento térmico que conduzem a um maior risco de condensações internas.

À semelhança do estudo efectuado para o elemento construtivo anterior, na tabela 4.7, encontram-se sombreadas as espessuras que conduzem a um maior risco de condensações internas numa cobertura metálica, sem barreira pára-vapor.

Observando os resultados expressos na tabela 4.7, constata-se que:

- As cidades de Portalegre, Coimbra e Lisboa, independentemente do tipo de isolamento utilizado, apresentam maior risco de condensações internas quando considerada a menor espessura de isolamento ($e(U_{\text{máx}})$);
- Bragança, no caso de se considerar lã mineral ou poliestireno expandido, regista maior risco com uma espessura de isolamento mais elevada, enquanto que com poliestireno extrudido verifica-se maior risco considerando uma espessura equivalente ao coeficiente de transmissão térmica (U) de referência;
- Quanto à cidade do Porto, regista maior risco com uma espessura de isolamento menor, excepto aquando da utilização de lã mineral.

Assim, procedendo a uma análise global de todos os elementos construtivos em estudo, constata-se que:

- A influência da espessura do isolamento térmico não é tão clara, nem linear como a dos restantes parâmetros o que, como expresso anteriormente é uma consequência do uso de um método não linear, como o método de Glaser, em que se baseia o programa de simulação CONDENSE 13788 [7].

4.8. ELEMENTO CONSTRUTIVO

As diversas simulações efectuadas permitem neste subcapítulo proceder à análise individual de cada elemento construtivo simulado, com o intuito de perceber quais as condições que conduzem a um maior risco de ocorrência de condensações internas.

Nas situações em que ocorrem condensações no interior dos elementos construtivos, é igualmente efectuado o dimensionamento de uma barreira pára-vapor, afim de eliminá-las por completo. Assim, a análise de sensibilidade à barreira pára-vapor é efectuada procedendo-se à determinação, por via indirecta, da espessura da camada de ar de difusão equivalente mínima que a barreira terá de ter para eliminar por completo as condensações internas.

4.8.1. PAREDE SIMPLES COM ISOLAMENTO TÉRMICO PELO INTERIOR

4.8.1.1. Simulações condicionantes

Das diferentes simulações efectuadas com este elemento construtivo, umas destacam-se por conduzirem a um maior risco de condensações internas.

Para todas as cidades em estudo, a situação mais gravosa surge aquando do uso de lã mineral como isolamento térmico, com uma espessura correspondente ao nível de qualidade térmica N2 ($e(U_{N2})$). Quanto aos restantes parâmetros, Bragança apresenta maior risco numa situação de perfil de temperatura interior θ inverno/ θ verão e classe de higrometria 4, enquanto que a situação mais gravosa para o Porto, Portalegre e Coimbra é a consideração do perfil $\theta_i = \theta_e + 3$ e da classe 3 de higrometria. Quanto a Lisboa e Ponta Delgada não foi possível determinar quando ocorreria maior risco uma vez

que, perante as condições simuladas, nunca ocorrem condensações internas. O esquema da figura 4.21 evidencia o explicado anteriormente.

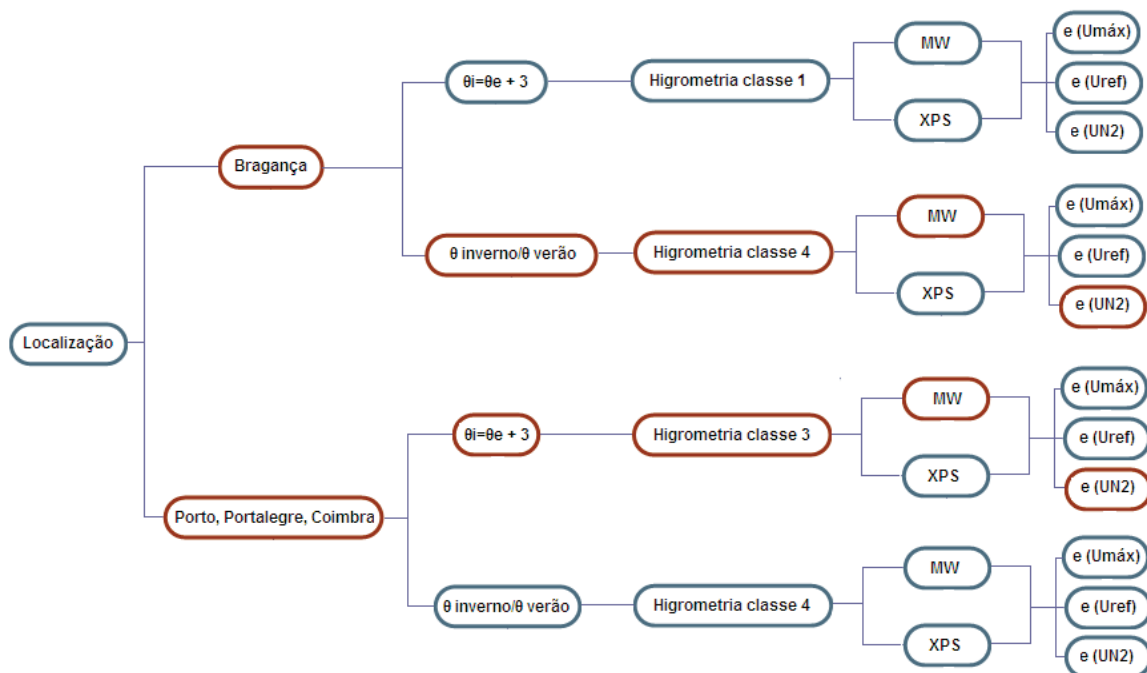


Fig.4.21 – Esquema representativo das simulações efectuadas para a parede simples com isolamento pelo interior, encontrando-se a vermelho as que conduzem a um maior risco de condensações internas.

O esquema da figura 4.22 evidencia quais as condições interiores que deverão ser testadas, dependendo da cidade em simulação, para proceder à avaliação do risco de condensações internas, quando a parede simples apresenta uma configuração específica de material de isolamento e respectiva espessura, neste caso apresentando lã mineral como isolamento térmico, com espessura correspondente ao nível de qualidade térmica N2 ($e(U_{N2})$).

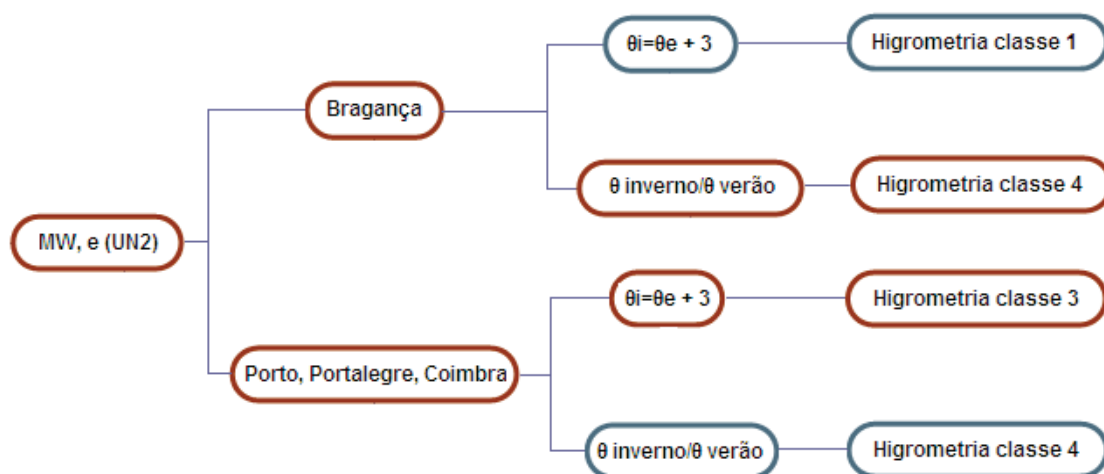


Fig.4.22 – Esquema representativo das condições interiores que deverão ser testadas (a vermelho), para a avaliação do risco de condensações internas, quando a parede simples tem lã mineral como isolamento térmico e espessura $e(U_{N2})$.

Como explicado anteriormente, a parede simples com isolamento térmico pelo interior foi também simulada numa situação de higrometria constante forte. Para esta situação e com o perfil de temperatura interior θ inverno/ θ verão as cidades do Porto, Portalegre, Coimbra e Ponta Delgada apresentam maior fluxo condensado acumulado que a simulação supracitada, com a particularidade de nas cidades do Porto e Ponta Delgada não se verificar a possibilidade de secagem do elemento por completo durante os meses de verão. A cidade de Lisboa apresenta agora também risco de condensações internas.

Assim, se uma parede simples com isolamento térmico pelo interior for simulada para as condições mencionadas e não se verificar a ocorrência de condensações no seu interior, significa que não apresenta qualquer risco de ocorrência deste fenómeno.

4.8.1.2. Dimensionamento da barreira pára-vapor

A aplicação da barreira pára-vapor na posição correcta é fundamental para o êxito desta solução. A barreira pára-vapor deverá ser colocada sempre pelo interior do isolamento térmico. Tal é justificado pela grande resistência à difusão que esta possui, que fará com que a curva das pressões de saturação se afaste da curva das pressões instaladas.

Nos gráficos das figuras 4.23 e 4.24 está representada a espessura da camada de ar de difusão equivalente que a barreira pára-vapor terá de ter para que não haja qualquer risco de condensações internas. A figura 4.23 diz respeito ao perfil de temperatura $\theta_i = \theta_e + 3$, enquanto que a figura 4.24 corresponde ao perfil de temperatura interior θ inverno/ θ verão.

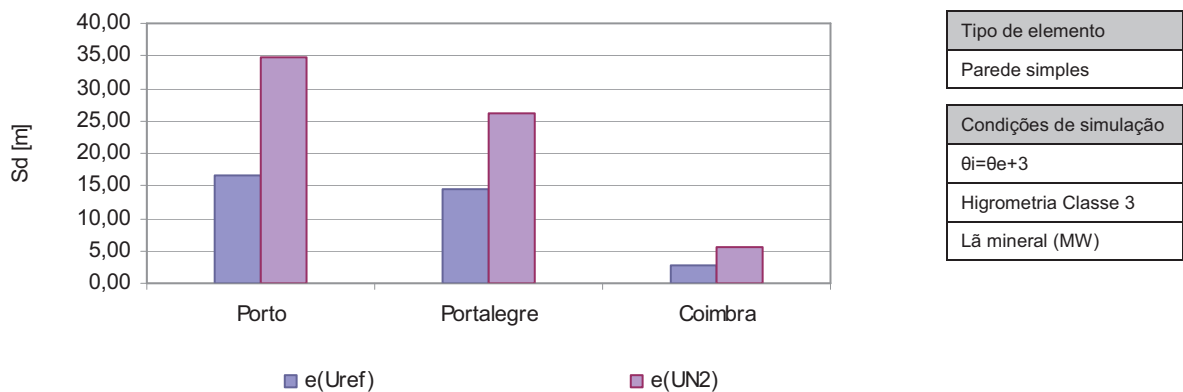


Fig.4.23 – Dimensionamento da barreira pára-vapor, de modo a não ocorrerem condensações internas.

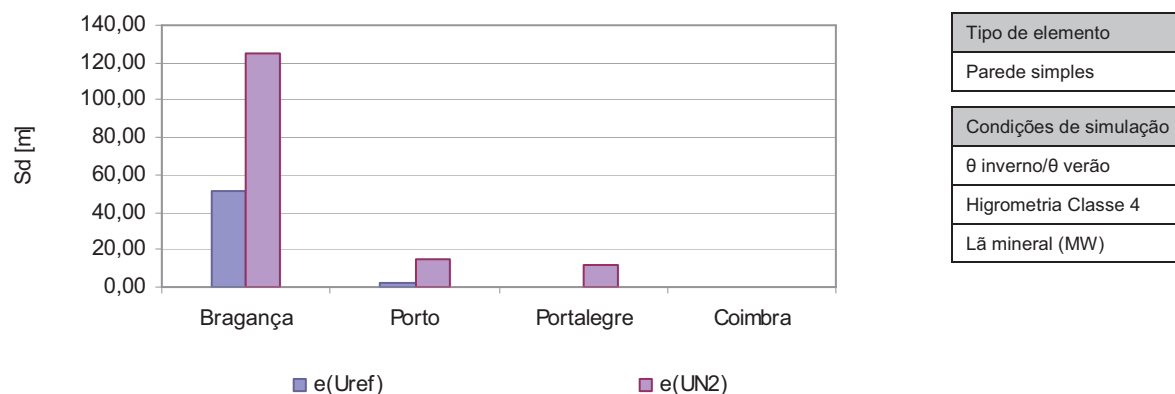


Fig.4.24 – Dimensionamento da barreira pára-vapor, de modo a não ocorrerem condensações internas.

Da observação dos gráficos acima representados e das conclusões retiradas anteriormente relativamente aos diversos parâmetros intervenientes, constata-se que:

- Quanto maior o fluxo condensado acumulado no interior do elemento, maior terá de ser a espessura da camada de ar de difusão equivalente da barreira pára-vapor de modo a eliminar por completo as condensações internas;
- Aumentando a espessura de isolamento térmico, uma vez que acarreta um aumento do fluxo condensado acumulado no interior da parede, aumenta também a espessura da camada de ar de difusão equivalente da barreira necessária para eliminar o respectivo fluxo;
- Ao aumentar a temperatura interior, pela consideração do perfil de temperatura θ inverno/ θ verão, apesar de conduzir a um aumento de higrometria, diminui a espessura da camada de ar de difusão equivalente, ou seja, aumenta o coeficiente de permeabilidade da barreira pára-vapor necessário afim de evitar condensações internas;
- Lisboa e Ponta Delgada não necessitam de barreira pára-vapor para que o elemento se encontre seco durante todo o ano.

4.8.2. PAREDE SIMPLES COM ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR – ETICS

4.8.2.1. Simulações condicionantes

Para este elemento o maior risco corresponde à situação em que a espessura da camada de ar de difusão equivalente (s_d) do revestimento exterior é menor, ou seja, é a situação em que não é possível utilizar um revestimento com um valor de s_d superior a um determinado valor sem que ocorram condensações internas.

Na figura 4.25 estão representadas as simulações efectuadas para cada cidade, estando evidenciadas a vermelho as que conduzem a um maior risco.

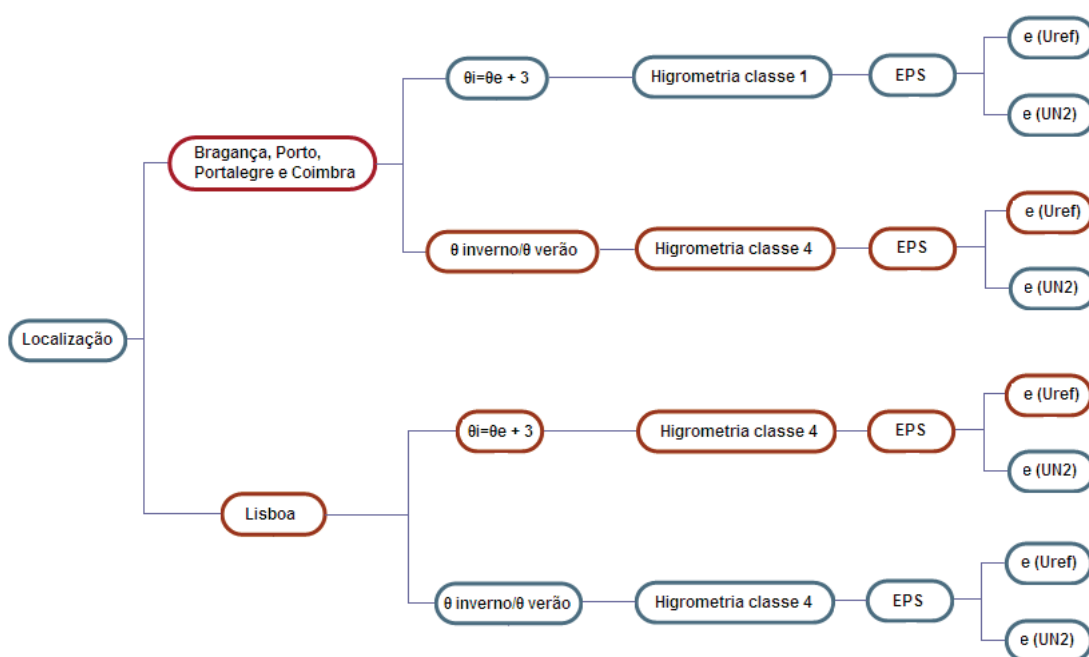


Fig.4.25 – Esquema representativo das simulações efectuadas para a parede ETICS, encontrando-se a vermelho as que conduzem a um maior risco de condensações internas.

Assim, a espessura de isolamento térmico crítica é a espessura correspondente ao coeficiente de transmissão (U) de referência ($e(U_{ref})$), para todas as cidades. Bragança, Porto, Portalegre e Coimbra apresentam maior risco para um perfil de temperatura interior θ inverno/ θ verão e higrometria classe 4, enquanto que para Lisboa é igualmente a classe 4 de higrometria mas com o perfil de temperatura $\theta_i = \theta_e + 3$.

A figura 4.26 procura representar os resultados obtidos através da simulação das condições acima descritas.

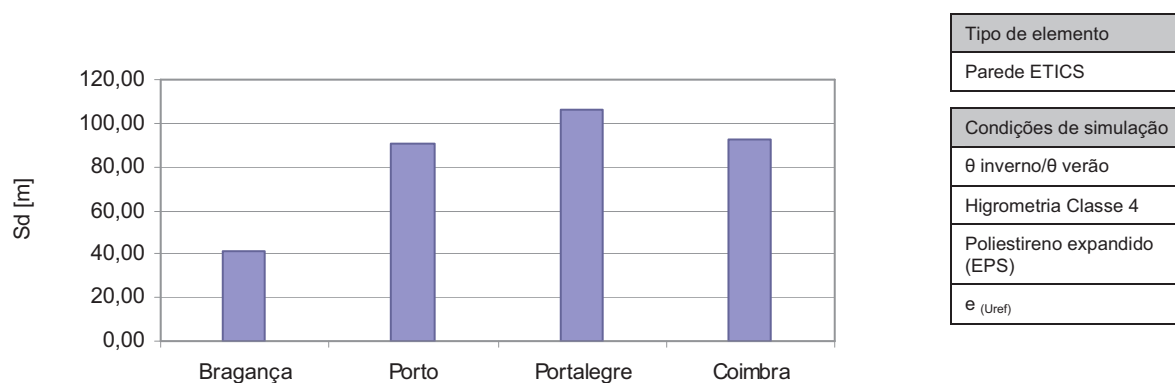


Fig.4.26 – Espessura da camada de ar de difusão equivalente do revestimento exterior máxima.

Lisboa não se encontra representada no gráfico acima exposto uma vez que o perfil de temperatura que leva a uma maior risco nesta cidade não coincide com as restantes, tal como acima descrito. Ponta

Delgada destaca-se por permitir o uso de um revestimento muito impermeável, sem que nunca ocorram condensações internas, não se encontrando por isso representada no gráfico.

Desde que a espessura da camada de ar de difusão equivalente do revestimento exterior não ultrapasse os valores máximos representados no gráfico da figura 4.26, este funciona como barreira pára-vapor do lado exterior. Esta camada é impermeável à água líquida, mas permeável ao vapor de água impedindo assim a formação de condensações no interior do elemento.

Com a figura 4.27 pretende-se mostrar uma sugestão de condições climáticas interiores a testar, perante uma determinada espessura de isolamento térmico, neste caso correspondente ao coeficiente de transmissão de referência ($e(U_{ref})$), afim de determinar qual a espessura da camada de ar de difusão equivalente máxima do revestimento exterior de modo a evitar a ocorrência de condensações internas.

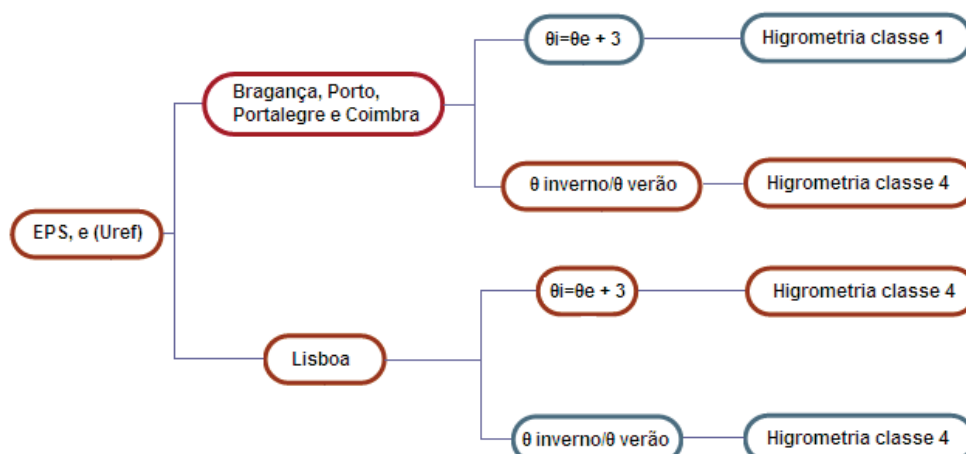


Fig.4.27 – Esquema representativo das condições interiores que deverão ser testadas (a vermelho), para a avaliação da espessura da camada de ar de difusão equivalente máxima do revestimento exterior de uma parede ETICS, com espessura de isolamento $e(U_{N2})$.

4.8.3. PAREDE DUPLA COM ISOLAMENTO TÉRMICO PREENCHENDO TOTALMENTE A CAIXA-DE-AR

4.8.3.1. Simulações condicionantes

Numa fase inicial, a parede dupla com isolamento térmico preenchendo totalmente a caixa-de-ar, apenas apresenta risco de aparecimento de condensações no seu interior para a cidade de Bragança, não se verificando qualquer risco para as restantes cidades.

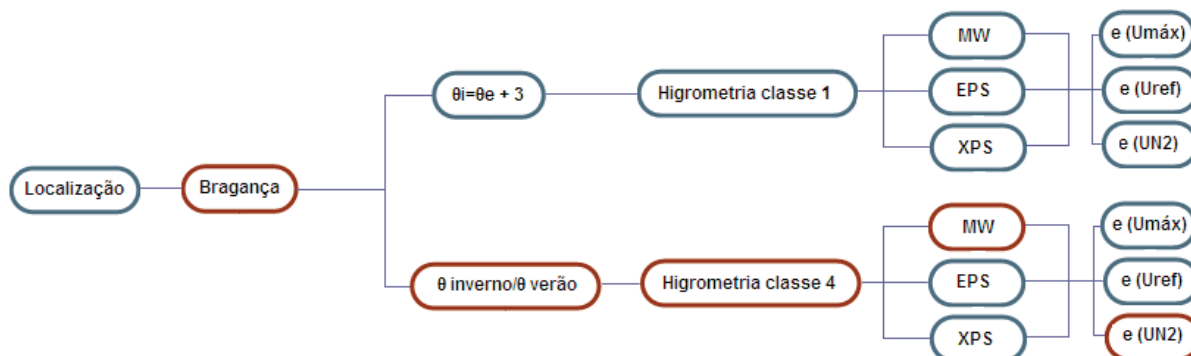


Fig.4.28 – Esquema representativo das simulações efectuadas para a parede dupla, situada na cidade de Bragança, encontrando-se a vermelho a que conduz ao aparecimento de condensações no seu interior.

Assim, Bragança apresenta risco de condensações internas aquando do uso de lã mineral como isolamento térmico, com uma espessura correspondente ao nível de qualidade térmica N2 ($e(U_{N2})$), tendo como perfil de temperatura interior o perfil definido como θ inverno/ θ verão e apresentando uma higrometria classe 4.

De modo a ser possível compreender melhor o comportamento deste elemento construtivo, concluiu-se que seria interessante simulá-lo para uma situação de higrometria constante, tendo sempre em conta a necessidade da não existência de condensações superficiais.

Assim, surgem condensações internas novamente para a cidade de Bragança e para a cidade de Portalegre. Bragança apresenta risco para o perfil de temperatura interior θ inverno/ θ verão e uma higrometria muito forte, numa situação de parede dupla sem isolamento térmico e apresenta igualmente risco considerando lã mineral com espessuras correspondentes ao nível de qualidade térmica N2 ($e(U_{N2})$) e ao coeficiente de transmissão de referência ($e(U_{ref})$), registando esta última situação um menor fluxo condensado acumulado, não se prevendo no entanto a sua secagem por completo nos meses de verão. Relativamente a Portalegre verifica-se a ocorrência de condensações internas nas condições climáticas interiores citadas para Bragança mas, apenas para uma situação de espessura de isolamento térmico correspondente ao nível de qualidade térmica N2 ($e(U_{N2})$), havendo a possibilidade de evaporação por completo durante os meses de verão.

Deste modo, a parede dupla apresentando risco de condensações internas apenas para as cidades com temperaturas exteriores mais baixas na estação de aquecimento e considerando o edifício em questão com uma higrometria elevada, conclui-se que a solução construtiva apresentada para este elemento tem um bom comportamento face à ocorrência de condensações no seu interior. Deste modo, não foi efectuado o dimensionamento de barreira pára-vapor.

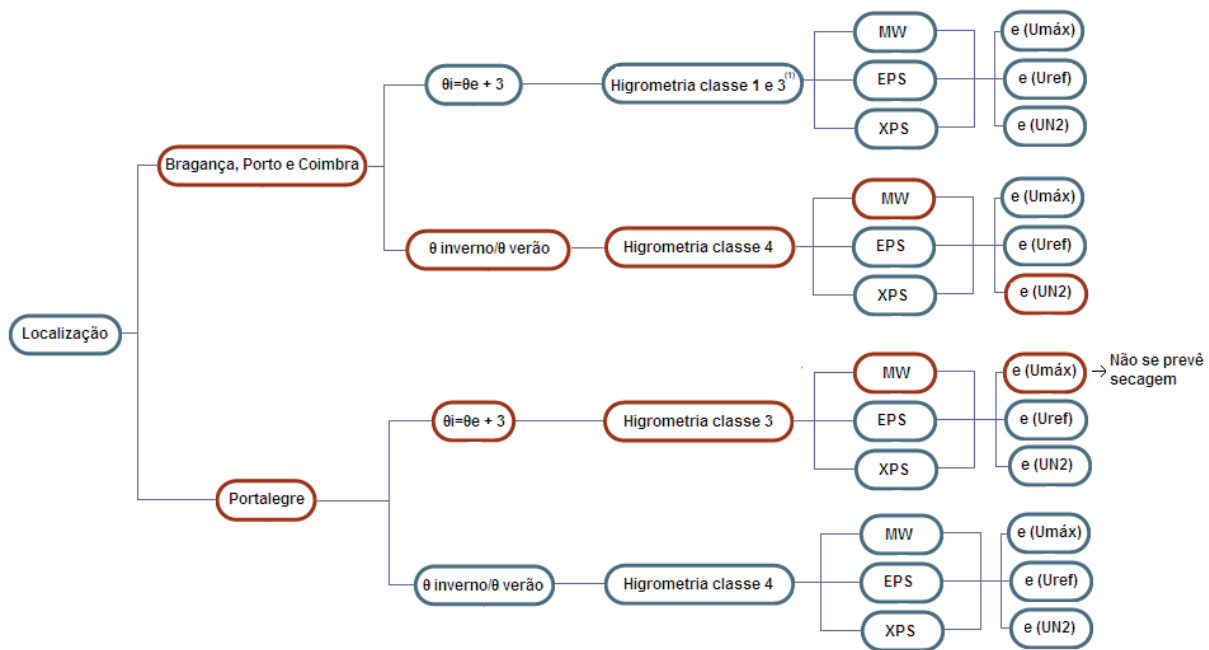
4.8.4. COBERTURA HORIZONTAL EM TERRAÇO COM ISOLAMENTO EXTERIOR

4.8.4.1. Simulações condicionantes

Considerando a não existência de uma barreira pára-vapor, a cobertura horizontal em terraço apresenta sempre maior risco tendo lã mineral como isolamento térmico. Para as cidades de Bragança, Porto e Coimbra a situação mais gravosa surge aquando do uso de uma espessura de isolamento térmico correspondente ao nível de qualidade térmica N2 ($e(U_{N2})$), perfil de temperatura interior θ inverno/ θ verão e higrometria classe 4. Quando simulado para a cidade de Portalegre este elemento regista maior risco de condensações internas considerando lã mineral com uma espessura correspondente ao coeficiente de transmissão (U) máximo ($e(U_{máx})$), perfil de temperatura $\theta_i = \theta_e + 3$ e classe de higrometria 3, não se prevendo, nesta situação, a secagem por completo durante os meses de verão.

A cobertura horizontal considerada não oferece qualquer risco de ocorrência de condensações internas quando situada em Lisboa ou Ponta Delgada.

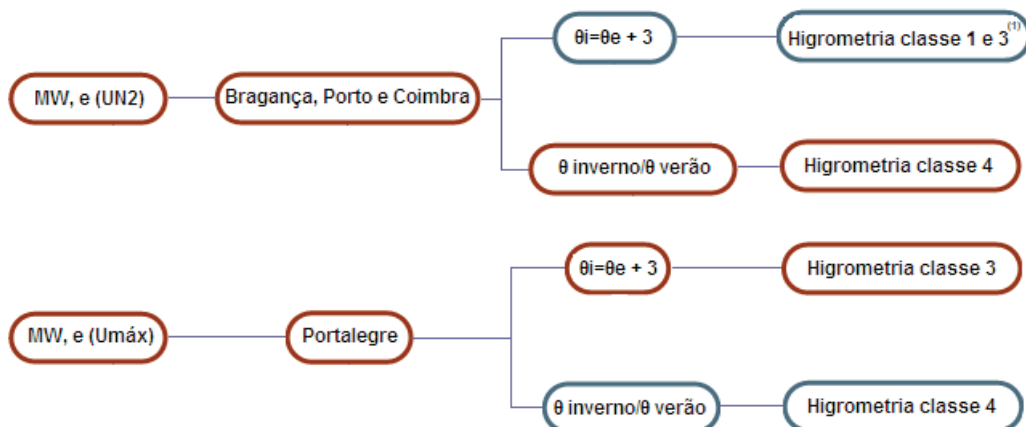
O esquema representado na figura 4.29 evidencia o exposto anteriormente.



(1) - Higrometria classe 1 para Bragança e classe 3 para Porto e Coimbra.

Fig.4.29 – Esquema representativo das simulações efectuadas para a cobertura plana, sem barreira pára-vapor, encontrando-se a vermelho as que conduzem a um maior risco de condensações internas.

A figura 4.30 procura representar as condições climáticas interiores a testar, para cada cidade e mediante o tipo de isolamento e respectiva espessura, de modo a avaliar o risco de ocorrência de condensações internas.



(1) - Higrometria classe 1 para Bragança e classe 3 para Porto e Coimbra.

Fig.4.30 – Esquema representativo das condições interiores que deverão ser testadas (a vermelho), para a avaliação do risco de condensações internas, de uma cobertura plana tradicional, mediante o tipo de isolamento e respectiva espessura.

4.8.4.2. Dimensionamento da barreira pára-vapor

Como descrito anteriormente, a aplicação da barreira pára-vapor na posição correcta é fundamental para o êxito desta solução. A barreira pára-vapor deverá ser colocada entre o isolamento térmico e a camada de forma como demonstra a figura 4.31.

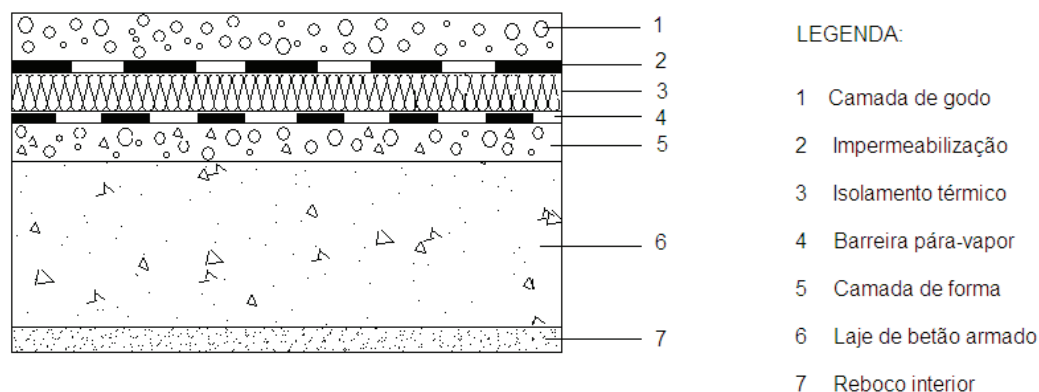


Fig.4.31 – Pormenor construtivo da cobertura horizontal em terraço, com barreira pára-vapor.

A tabela 4.8 mostra os resultados obtidos do dimensionamento da barreira pára-vapor, de modo a eliminar por completo a ocorrência de condensações internas, para o cenário mais gravoso de cada cidade, considerando o perfil de temperatura interior θ inverno/ θ verão e higrometria classe 4. De salientar que para o dimensionamento da barreira pára-vapor foi considerada a espessura de isolamento térmico que conduz a um maior risco de condensações internas.

Tabela 4.8 – Dimensionamento da barreira pára-vapor para a cobertura horizontal em terraço.

Cidade	Tipo de Isolamento térmico	Espessura do isolamento	Sd[m] da barreira pára-vapor
Bragança	MW	$e(U_{N2})$	21293,47
	EPS	$e(U_{m\acute{a}x})$	*
	XPS	$e(U_{m\acute{a}x})$	*
Porto	MW	$e(U_{N2})$	4780,32
	EPS	$e(U_{ref})$	3871,84
	XPS	$e(U_{m\acute{a}x})$	886,38
Portalegre	MW	$e(U_{N2})$	4950,30
	EPS	$e(U_{ref})$	3192,91
	XPS	$e(U_{m\acute{a}x})$	730,76
Coimbra	MW	$e(U_{N2})$	3335,13
	EPS	$e(U_{ref})$	2000,28
	XPS	$e(U_{ref})$	1923,18

* Mesmo utilizando uma barreira pára-vapor com Sd extremamente elevado, ou seja, uma barreira pára-vapor extremamente impermeável, não é possível eliminar por completo as condensações internas.

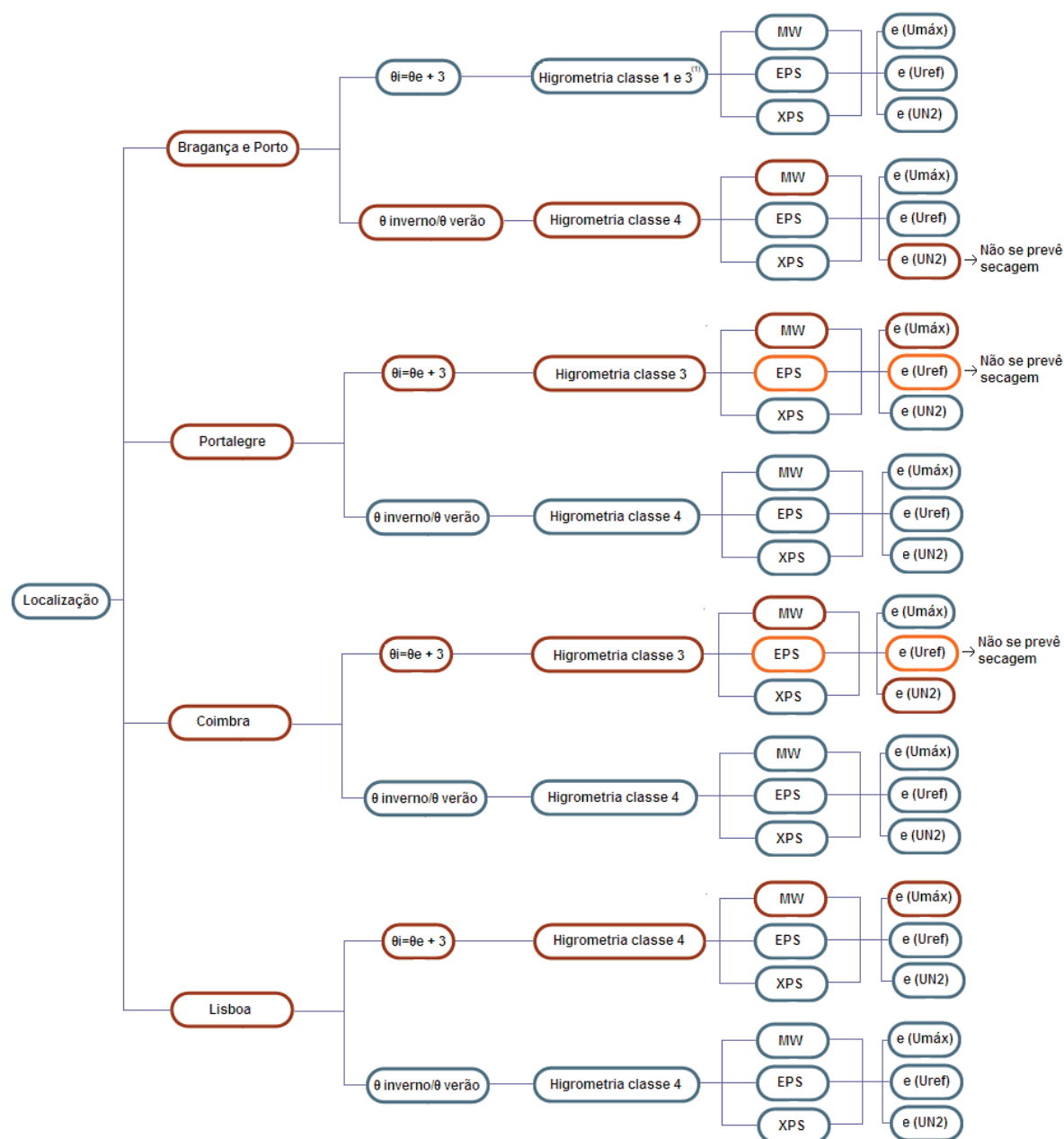
Da observação dos resultados expressos na tabela 4.8, é notório o aumento da espessura da camada de ar de difusão equivalente e por sua vez do factor de resistência à difusão da barreira pára-vapor com o rigor das condições climáticas. Dadas as condições climáticas exteriores e as exigências de temperatura interior a espessura da camada de ar de difusão equivalente necessária para que não ocorram condensações internas em Bragança é muito superior àquela necessária para o mesmo efeito nas restantes cidades, havendo mesmo a situação em que não é de todo possível eliminar por completo as condensações no interior da cobertura nesta cidade. Lisboa e Ponta Delgada não necessitam de barreira pára-vapor para que o elemento se encontre seco durante todo o ano.

4.8.5. COBERTURA METÁLICA

4.8.5.1. Simulações condicionantes

Considerando o espaço de ar não ventilado, a inexistência da barreira pára-vapor no lado interior do isolamento permite que fluxos aquecidos de vapor de água atravessem o isolamento térmico arrefecendo ao mesmo tempo. Uma vez que a temperatura do vapor de água vai diminuindo ao atravessar as várias camadas surgem então condensações na interface da chapa metálica com o espaço de ar.

Na figura 4.32 estão representadas as simulações efectuadas para cada cidade, estando evidenciadas a vermelho as que conduzem a um maior risco e a laranja as situações em que, apesar de apresentarem um valor de fluxo condensado acumulado menor não se prevê a sua secagem por completo durante os meses de verão.



(1) - Higrometria classe 1 para Bragança e classe 3 para Porto

Fig.4.32 – Esquema representativo das simulações efectuadas para a cobertura metálica, sem barreira pára-vapor, encontrando-se a vermelho as que conduzem a um maior risco de condensações internas e a laranja as que, apesar de apresentarem um valor de fluxo condensado acumulado menor, não se prevê a sua secagem.

Assim, a cobertura metálica apresenta sempre maior fluxo condensado acumulado tendo lã mineral como isolamento térmico. Bragança e Porto registam maior risco de condensações internas aquando da consideração do perfil de temperatura interior θ inverno/ θ verão, higrometria classe 4 e espessura de isolamento térmico correspondente ao nível de qualidade térmica N2 ($e(U_{N2})$), não sendo possível em ambos os casos a evaporação por completo durante os meses de verão.

Este elemento construtivo quando simulado em Portalegre com lã mineral de espessura correspondente ao coeficiente de transmissão (U) máximo ($e(U_{\text{máx}})$), perfil de temperatura $\theta_i = \theta_e + 3$ e classe de higrometria 3 regista maior fluxo condensado acumulado, sendo porém possível a secagem por completo. No entanto, quando simulado nas mesmas condições climáticas mas, com poliestireno expandido com espessura correspondente ao coeficiente de transmissão (U) de referência ($e(U_{\text{ref}})$), verifica-se um menor fluxo condensado acumulado, não se verificando contudo a possibilidade de evaporação por completo durante os meses de verão. O mesmo sucede quando situado na cidade de Coimbra, havendo no entanto maior fluxo condensado e possível evaporação aquando da consideração de uma espessura de isolamento térmico correspondente ao nível de qualidade térmica N2 ($e(U_{\text{N2}})$).

Quanto à cidade de Lisboa o cenário mais gravoso relativamente ao fenómeno das condensações internas surge considerando lã mineral de espessura correspondente ao coeficiente de transmissão (U) máximo ($e(U_{\text{máx}})$), perfil de temperatura $\theta_i = \theta_e + 3$ e classe de higrometria 4.

Perante as condições simuladas Ponta Delgada não apresenta qualquer risco de ocorrência de condensações internas.

A figura 4.33 procura representar as condições climáticas interiores a testar, para cada cidade e mediante o tipo de isolamento e respectiva espessura, de modo a avaliar o risco de ocorrência de condensações internas.

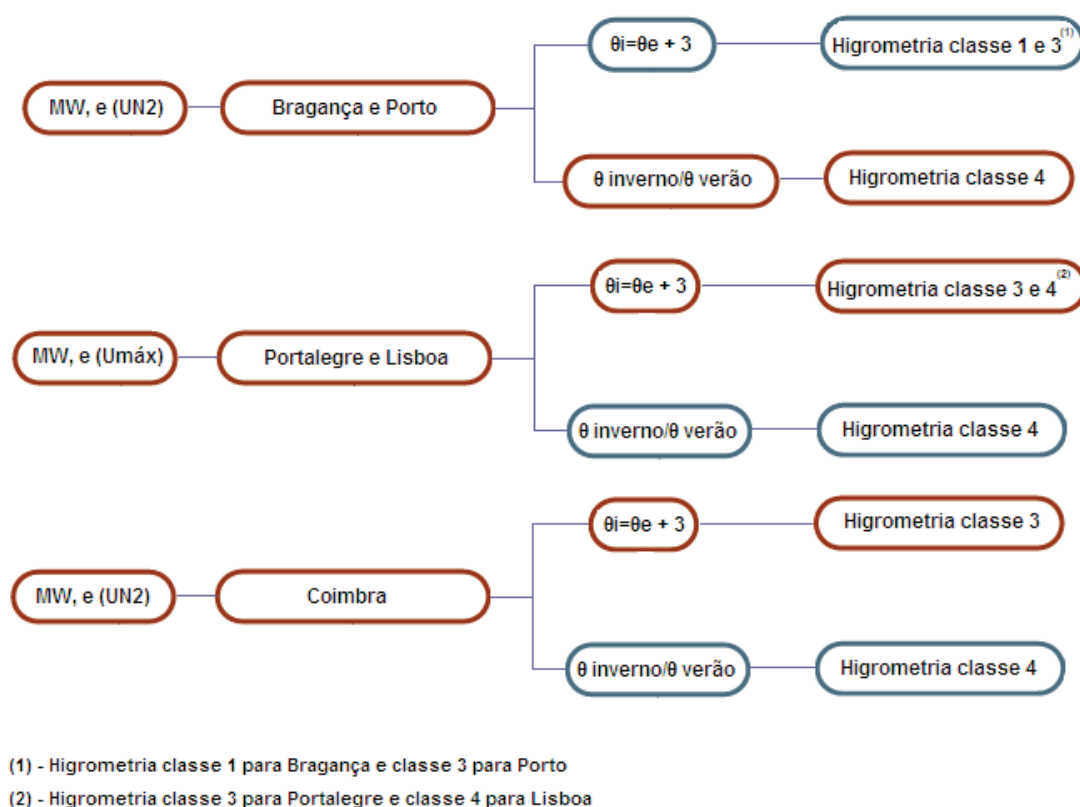


Fig.4.33 – Esquema representativo das condições interiores que deverão ser testadas (a vermelho), para a avaliação do risco de condensações internas, de uma cobertura metálica, mediante o tipo de isolamento e respectiva espessura.

4.8.5.2. Dimensionamento da barreira pára-vapor

Na cobertura metálica a barreira pára-vapor, deverá ser colocada sob o isolamento térmico, como demonstrado na figura 4.34.

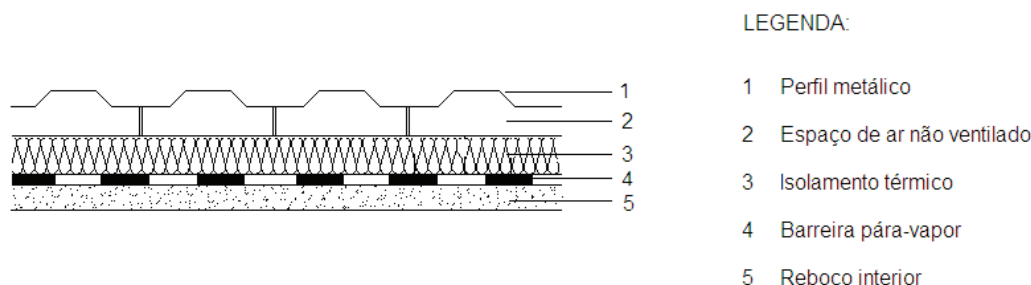


Fig.4.34 – Pormenor construtivo da cobertura metálica, com barreira pára-vapor.

Na tabela 4.9 constam os valores da espessura da camada de ar de difusão equivalente (s_d) mínima que a barreira pára-vapor terá de ter para eliminar por completo as condensações internas. O dimensionamento da barreira pára-vapor foi efectuado com base no conjunto de condições, incluindo a espessura de isolamento térmico, que caracterizam o cenário mais gravoso para cada cidade em estudo.

Tabela 4.9 – Dimensionamento da barreira pára-vapor para a cobertura metálica.

Cenário mais gravoso			Dimensionamento da barreira pára-vapor		
Cidade	Perfil de temperatura interior	Classe de higrometria	Tipo de Isolamento térmico	Espessura do isolamento	S_d [m] da barreira pára-vapor
Bragança	θ inverno/ θ verão	4	MW	$e(U_{N2})$	17700,96
	θ inverno/ θ verão	4	EPS	$e(U_{N2})$	17417,76
	θ inverno/ θ verão	4	XPS	$e(U_{ref})$	12769,38
Porto	θ inverno/ θ verão	4	MW	$e(U_{N2})$	5446,32
	$\theta_i = \theta + 3$	3	EPS	$e(U_{ref})$	2332,24
	$\theta_i = \theta + 3$	3	XPS	$e(U_{ref})$	2142,48
Portalegre	$\theta_i = \theta + 3$	3	MW	$e(U_{máx})$	706,80
	$\theta_i = \theta + 3$	3	EPS	$e(U_{ref})$	1776,76
	$\theta_i = \theta + 3$	3	XPS	$e(U_{ref})$	1586,32
Coimbra	$\theta_i = \theta + 3$	3	MW	$e(U_{N2})$	1714,00
	$\theta_i = \theta + 3$	3	EPS	$e(U_{ref})$	1097,95
	θ inverno/ θ verão	4	XPS	$e(U_{máx})$	620,96
Lisboa	$\theta_i = \theta + 3$	4	MW	$e(U_{máx})$	117,84
	$\theta_i = \theta + 3$	4	EPS	$e(U_{máx})$	109,98
	$\theta_i = \theta + 3$	4	XPS	$e(U_{máx})$	98,18

Dos resultados obtidos podem-se fazer algumas observações interessantes. À semelhança da cobertura horizontal em terraço, é evidente o aumento da espessura da camada de ar de difusão equivalente da barreira pára-vapor com a severidade das condições climáticas. Além disso, comparando os diferentes tipos de isolamento térmico para uma mesma espessura, constata-se que aumentando o factor de

resistência à difusão de vapor de água (μ) do isolamento, poderá ser diminuído o μ da barreira pára-vapor.

4.9. MAPEAMENTO DE RISCO

Os resultados obtidos permitem proceder a uma avaliação relativa e comparativa do risco inerente a cada cidade em estudo, para cada elemento construtivo, possibilitando assim o mapeamento do risco resultante. Como critério de avaliação foi utilizado um factor de escala obtido através dos valores máximo e mínimo do fluxo condensado acumulado, registado em cada elemento, sendo que o mínimo corresponde à situação em que não se verifica a ocorrência de condensações internas.

O mapeamento do risco é idêntico para os diferentes elementos construtivos em análise.

Deste modo, a figura 4.35 evidencia o risco de ocorrência de condensações internas ao longo do país, aquando da consideração de uma higrometria variável.

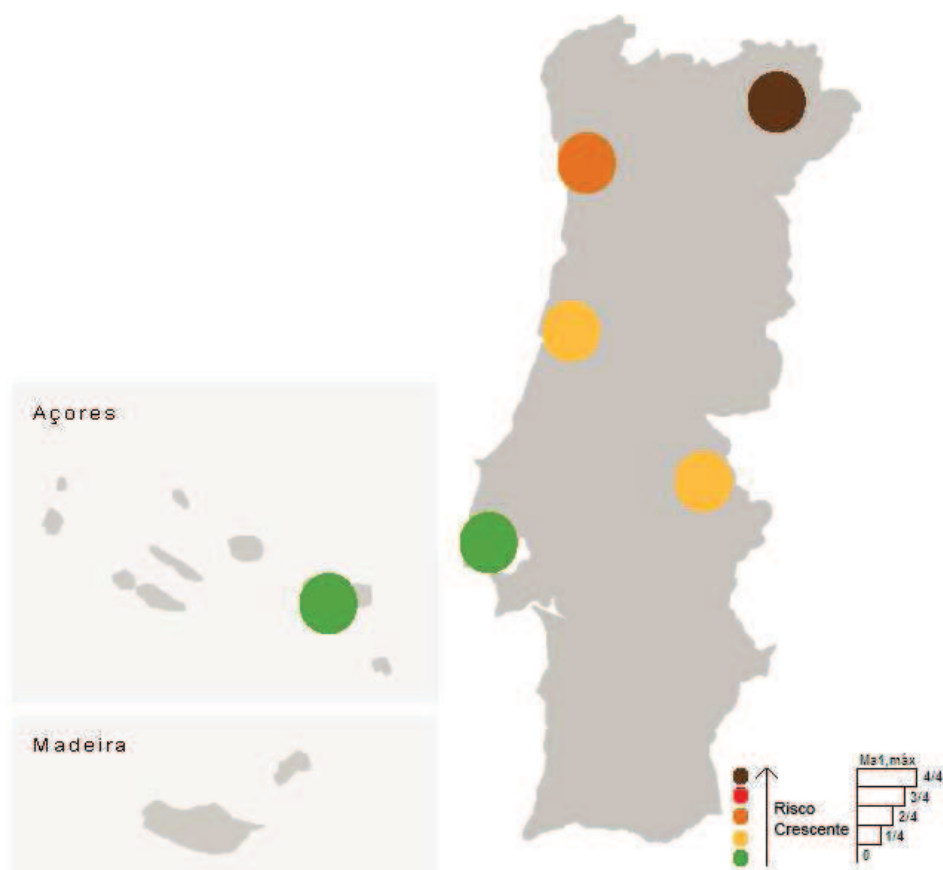


Fig.4.35 – Mapeamento do risco resultante, considerando uma higrometria variável.

A figura 4.36 pretende representar o risco de ocorrência de condensações no interior de uma parede simples com isolamento pelo interior, considerando um valor de higrometria constante.

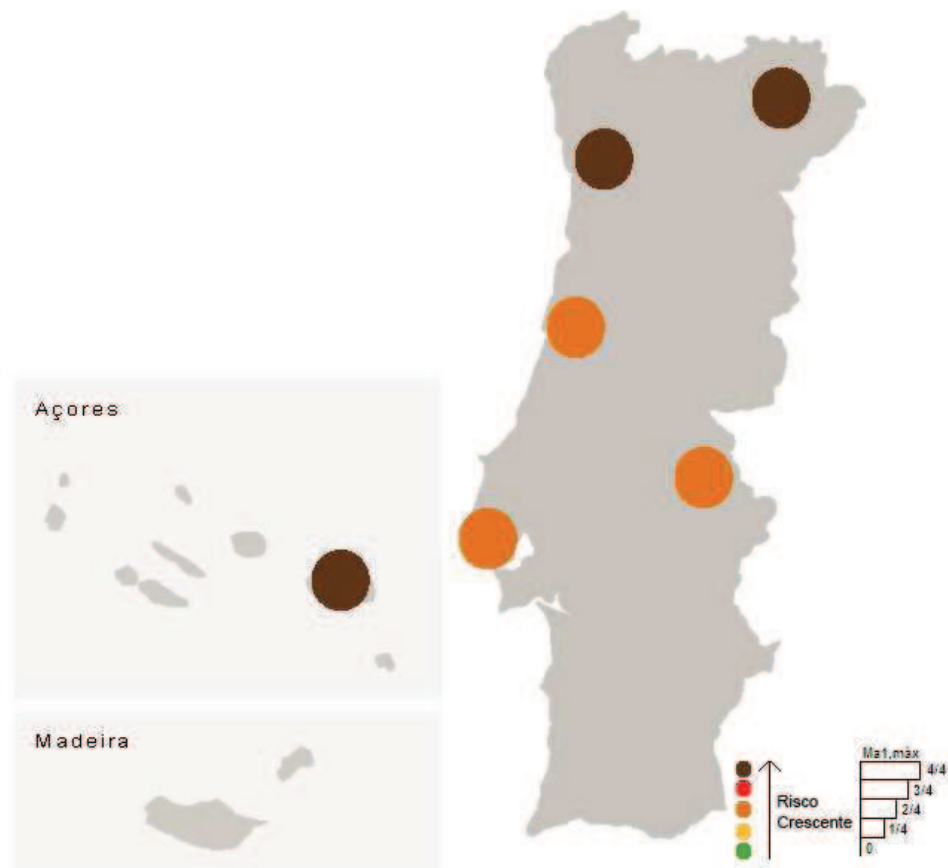


Fig.4.36 – Mapeamento do risco resultante relativo a uma parede simples com isolamento pelo interior, considerando um valor de higrometria constante.

Da observação das figuras 4.35 e 4.36, e reforçando o já exposto no subcapítulo 4.4, constata-se que, para uma parede simples com isolamento térmico pelo interior, a consideração de um valor de higrometria constante altera significativamente o mapeamento do risco de condensações internas, verificando-se um aumento deste. Cidades, que numa situação de higrometria variável registavam valores baixos e até nulos de fluxo condensado acumulado, apresentam agora um aumento considerável do risco, com destaque para a cidade de Ponta Delgada.

5

CONCLUSÕES

5.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Actualmente existe uma preocupação crescente relativamente à qualidade da envolvente dos edifícios, nomeadamente no que diz respeito ao seu comportamento higrotérmico.

A humidade surge como sendo uma das principais causas das patologias verificadas e, de entre os fenómenos que lhe estão associados, as condensações destacam-se por ocorrerem com maior frequência, provocando problemas não só para os edifícios, mas também para os seus ocupantes, sobretudo de conforto e saúde.

Com o intuito de compreender melhor o problema das condensações internas, os parâmetros que o influenciam e conhecer o respectivo risco em diferentes pontos do país, procedeu-se à simulação numérica de cinco elementos construtivos, variando propriedades de determinados componentes, sob diferentes solicitações.

Para tal, foi utilizado o programa de cálculo automático CONDENSE 13788 [7], desenvolvido com o apoio do Laboratório de Física das Construções (LFC – FEUP), que se revelou, sem dúvida, uma ferramenta de cálculo versátil e de fácil utilização.

O programa CONDENSE 13788 [7] foi desenvolvido com base na norma EN ISO 13788 [6], que sugere uma metodologia para o cálculo de condensações no interior dos elementos construtivos, por sua vez, baseada no método de Glaser, tomando no entanto em consideração, ao contrário deste último, o efeito da secagem.

Este estudo pressupõe então o conhecimento de determinados parâmetros como as condições climáticas exteriores e interiores. Deste modo, é possível salientar alguns aspectos como:

- Os dados climáticos exteriores, nomeadamente a temperatura do ar e a humidade relativa exterior, foram obtidos através do programa CONDENSE 13788 [7], mediante a escolha da localização;
- A dificuldade em encontrar valores reais da temperatura interior média mensal, para os doze meses do ano, em edifícios quer de habitação, quer de escritório, quer de indústria, levou à necessidade de definir dois perfis de temperatura interior, em função da temperatura exterior de cada cidade, procurando representar o que ocorrerá nos edifícios portugueses;
- Foi definido um perfil de temperatura interior como sendo 3°C superior à temperatura exterior ($\theta_i = \theta_e + 3^\circ\text{C}$) e outro perfil caracterizado por uma temperatura interior de Inverno

constante e igual a 20°C e uma temperatura interior de Verão 3°C superior à temperatura exterior (θ inverno/ θ verão);

- Relativamente aos valores de higrometria a considerar, e respectiva classificação de edifícios, existem várias propostas de diversos autores. Uma vez que este estudo se baseia na norma EN ISO 13788 [6], optou-se pelo uso da classificação de higrometria proposta por esta, dependente da temperatura exterior;
- Inicialmente, foi sempre considerada a classe 4 de higrometria, procedendo-se no entanto à diminuição da mesma sempre que se registou a ocorrência de condensações superficiais.

Os resultados obtidos nas simulações numéricas efectuadas permitem obter algumas conclusões, relativas aos elementos construtivos testados:

- A parede dupla com isolamento térmico preenchendo totalmente a caixa-de-ar, mediante as condições testadas, apresentou um risco muito reduzido, praticamente nulo, de ocorrência de condensações internas;
- Tratando-se de uma parede simples com isolamento térmico pelo interior constata-se que o reforço do isolamento térmico propicia o aumento do risco de ocorrência de condensações internas;
- Para as condições testadas, com o intuito de eliminar por completo a ocorrência de condensações no interior da parede simples, é necessário colocar uma barreira pára-vapor, pelo interior do isolamento térmico, com espessura da camada de ar de difusão equivalente (s_d) compreendida entre 0,52m e 125,44m, dependendo das condições climáticas consideradas. O valor mínimo foi obtido para a cidade de Portalegre e o valor máximo para a cidade de Bragança;
- No caso de uma parede com revestimento ETICS, assume grande importância a permeabilidade do revestimento exterior, devendo por isso haver especial atenção aquando da sua escolha. De modo a minimizar o risco de ocorrência de condensações internas, o revestimento exterior não deverá ser muito impermeável, ou seja, deverá apresentar uma elevada permeância ao vapor de água (Pe);
- De acordo com as simulações efectuadas, o valor máximo da espessura da camada de ar de difusão equivalente (s_d) do revestimento exterior poderá variar entre 41,60m e 1097,60m, tendo estes valores sido obtidos para Bragança e Lisboa, respectivamente;
- Merece destaque a cidade de Ponta Delgada que, perante as condições testadas, permite o uso de um revestimento muito impermeável, sem que nunca ocorram condensações internas;
- A cobertura plana tradicional e a cobertura metálica acarretam riscos elevados de ocorrência de condensações internas, caso não possuam uma barreira pára-vapor, convenientemente localizada. No caso da cobertura metálica o risco agrava-se ainda mais quando o espaço de ar entre o perfil metálico e o isolamento térmico não é ventilado;
- Na cobertura plana tradicional, de modo a eliminar por completo as condensações no seu interior, a barreira pára-vapor deverá ser colocada entre o isolamento térmico e a camada de forma e, para as condições testadas, deverá apresentar um valor da espessura da camada de ar de difusão equivalente (s_d) compreendido entre, aproximadamente, 731m e 21293m, à excepção de Lisboa e Ponta Delgada que, não registando condensações internas, não necessitam de barreira pára-vapor;

- Bragança apresenta porém situações em que a utilização de uma barreira pára-vapor extremamente impermeável não evita o surgimento de condensações no interior da cobertura plana;
- A barreira pára-vapor a colocar na cobertura metálica deverá situar-se sob o isolamento térmico e o valor da espessura da camada de ar de difusão equivalente (s_d), de modo a eliminar por completo as condensações internas, deverá situar-se no intervalo de aproximadamente 98m a 17700m, tendo estes valores sido obtidos para Lisboa e Bragança, respectivamente;
- Ponta Delgada merece novamente destaque por, perante as condições simuladas, não apresentar risco de condensações no interior da cobertura metálica.

O estudo desenvolvido permitiu igualmente estabelecer o seguinte:

- No que diz respeito ao material de isolamento térmico, em geral, quanto menor o respectivo coeficiente de permeabilidade (π), melhor é a solução construtiva face ao problema das condensações internas;
- Relativamente à influência da localização geográfica no risco de ocorrência de condensações internas, numa situação de higrometria variável verifica-se que a região de Bragança, devido ao seu clima rigoroso, apresenta maior risco, seguida das regiões do Porto, Portalegre e Coimbra. Os resultados obtidos para as regiões de Lisboa e Ponta Delgada apontam, claramente, para um risco muito reduzido;
- A consideração de uma higrometria constante conduz a um agravamento do risco, surgindo condensações internas em cidades mais húmidas, como é o caso de Ponta Delgada, que apresenta agora um risco que se assemelha ao de Bragança e Porto. Coimbra, Portalegre e Lisboa apresentam igualmente um risco acrescido e muito semelhante entre si;
- Quanto à influência das condições interiores, como seria de esperar, conclui-se que quanto maior a temperatura ambiente interior, menor o risco de condensações internas.

5.2.DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Com a elaboração deste estudo pretendeu-se abordar o problema das condensações no interior de um elemento construtivo, dando assim um contributo ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios. Com base nos resultados obtidos é possível mapear o risco de ocorrência de condensações internas em Portugal e retirar algumas conclusões acerca dos parâmetros que influenciam a sua ocorrência. No entanto, haverá ainda muito a explorar neste domínio, do qual se poderão referir os seguintes aspectos:

- Realização de uma campanha de medição das condições higrotérmicas interiores ao longo do ano, nomeadamente da temperatura e da higrometria, numa amostra significativa de edifícios portugueses, com recurso a dispositivos de medição mais recentes e precisos;
- Melhoria da interface gráfica e da base de dados do programa de cálculo automático CONDENSE 13788 [7], de modo a torná-lo ainda mais acessível ao utilizador;
- Cada elemento construtivo possui uma particularidade pelo que seria interessante alargar este estudo a outros elementos de construção, nomeadamente, elementos enterrados e pavimentos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Freitas, V., Torres, M., Guimarães, A. *Humidade Ascensional*. FEUP Edições, Porto, 2008.
- [2] Pinto, P. *Caracterização de barreiras pára-vapor e sua aplicação*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2002.
- [3] <http://www.spybuilding.com/downloads/CondensacoesEmEdificios.pdf>. (04/03/2009).
- [4] Corvacho, M. *Condensações em edifícios*. Comunicações das 7^{as} Jornadas de Construções Civas – Inovação e Desenvolvimento na Construção de Edifícios, 16 de Dezembro de 1999, FEUP, pp. 19-31, Secção de Construções Civas, Porto.
- [5] Freitas, V., Pinto, P. *Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção – Condensações Internas*. NIT 002, LFC – FEUP, 1998.
- [6] *EN ISO 13788 – Hygrothermal performance of building components and building elements - Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation – Calculation methods*, CEN, Brussels, 2001.
- [7] Programa de cálculo automático CONDENSE 13788.
- [8] *BS 5925 – Code of practice for ventilation principles and designing for natural ventilation*, British Standards Institution, London, 1991.
- [9] Freitas, V. *Influência da Ventilação no Comportamento Higrotérmico dos Edifícios*. 3º Congresso Nacional da Construção, 17 a 19 de Dezembro de 2007, Universidade de Coimbra, CD-ROM.
- [10] *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios* (Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril), Diário da República n.º 67, I Série, pp. 2468-2513.
- [11] http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1142_MetodoGlaser.pdf. (25/03/2009).
- [12] *EN 12524 – Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values*, CEN, Brussels, 2000.
- [13] *EN ISO 10456 – Building materials and products – Procedures for determining declared and design thermal values*, CEN, Brussels, 2007.
- [14] *EN ISO 12572 – Hygrothermal performance of building materials and products – Determination of water vapour transmission properties*, CEN, Brussels, 2001.
- [15] *EN ISO 15927-1 – Hygrothermal performance of buildings – Calculation and presentation of climatic data – Part 1: Monthly means of single meteorological elements*, CEN, Brussels, 2003.
- [16] Freitas, V. *Isolamento Térmico de Fachadas pelo Exterior – Reboco Delgado Armado sobre Poliestireno Expandido (ETICS)*, Relatório – HT 191/02, Prof. Eng.º Vasco Peixoto de Freitas, Lda, Porto, 2002.
- [17] Santos, C., Matias, L. *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*. ITE 50, LNEC, Lisboa, 2006.
- [18] França, N. *Humidade superficial crítica – Critérios de projecto para a envolvente dos edifícios portugueses*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2002.
- [19] Aelenei, D., Henriques, F. *Reforço de Isolamento Térmico pelo Interior – Avaliação Energética e Riscos Potenciais*. 2º Encontro sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, 20 e 21 de Março de 2006, FEUP, pp. 339 a 348, Edições FEUP, Porto.

ANEXO A1

RESULTADOS OBTIDOS DO PROGRAMA CONDENSE 13788 – PAREDE SIMPLES COM ISOLAMENTO TÉRMICO PELO INTERIOR

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim

Tipo de elemento: Vertical

Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar

Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$





Localização: Bragança

1.3 Condições Interiores

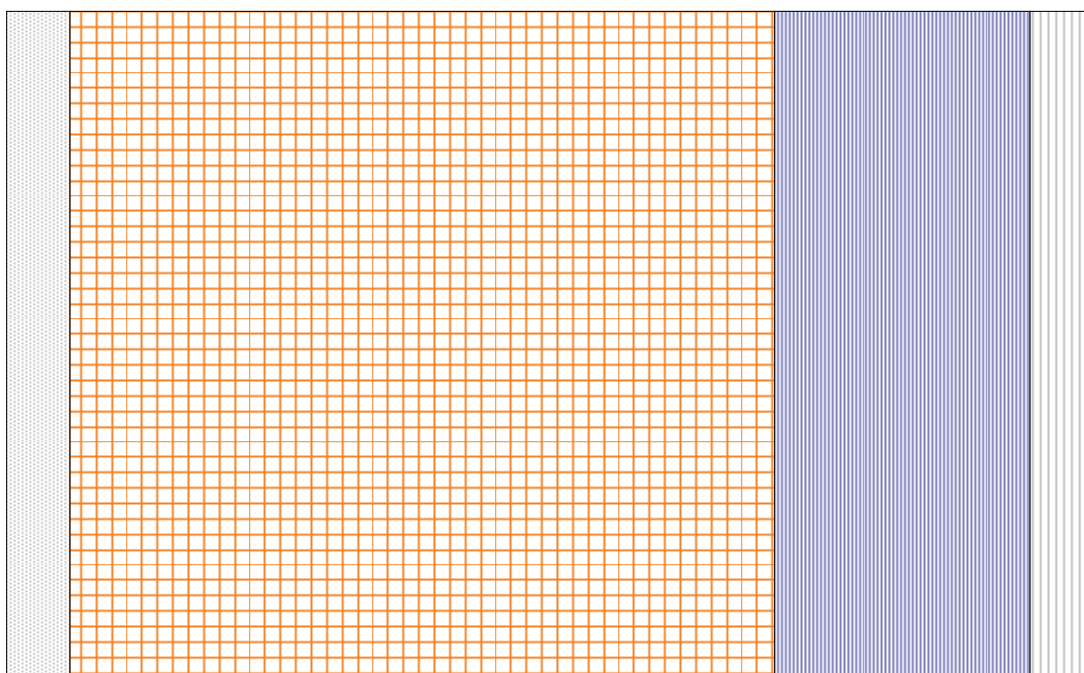
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$

Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

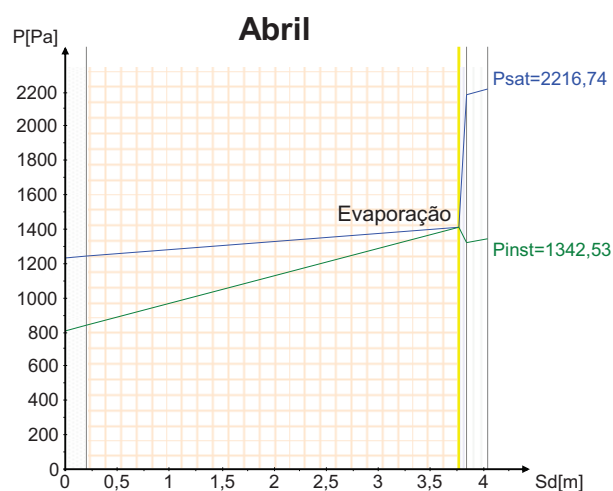
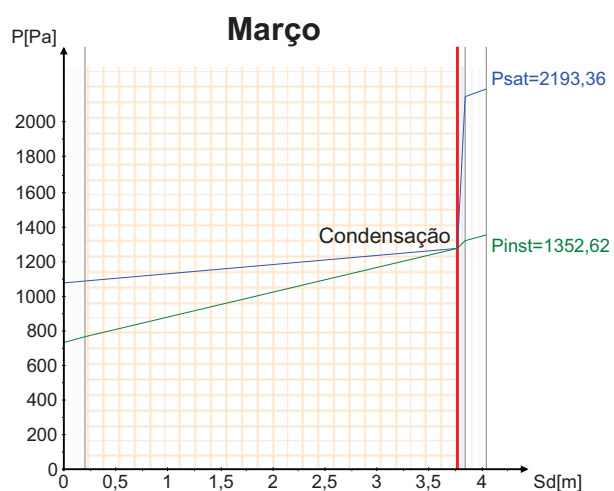
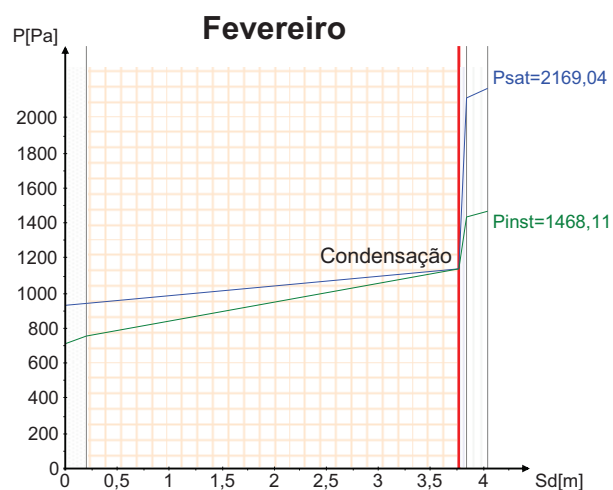
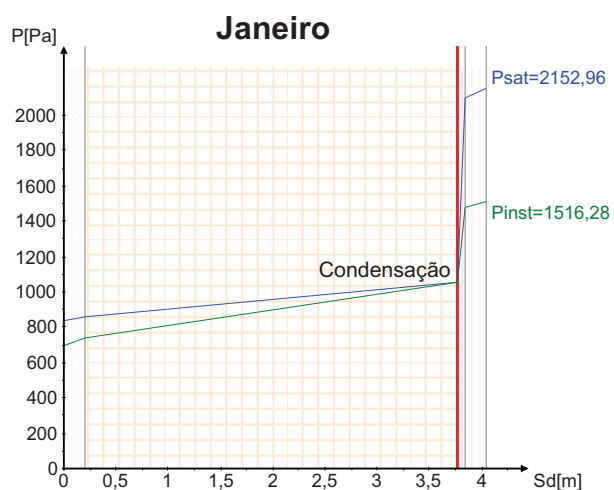
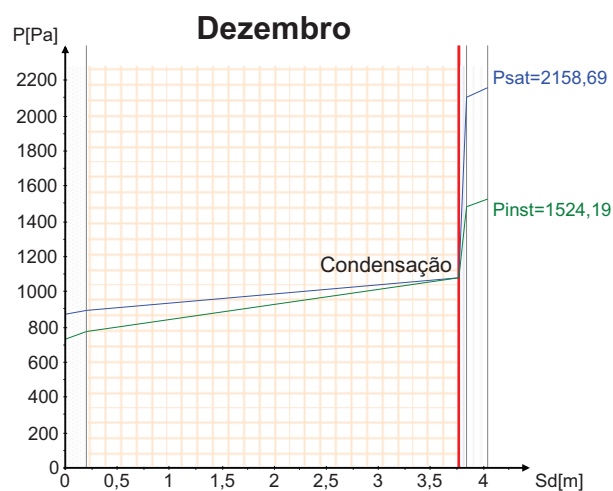
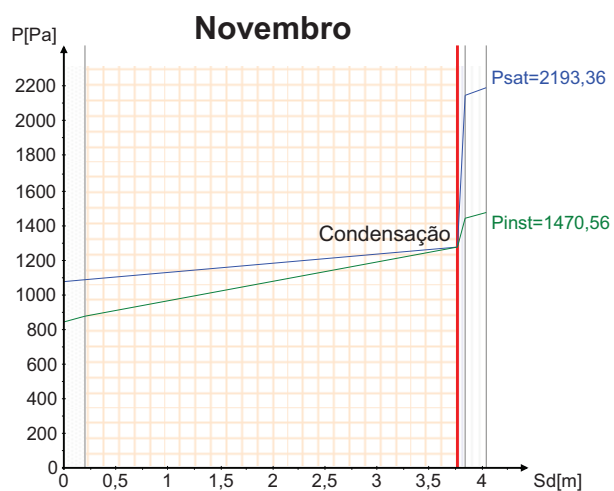
2. Camadas do Elemento Construtivo

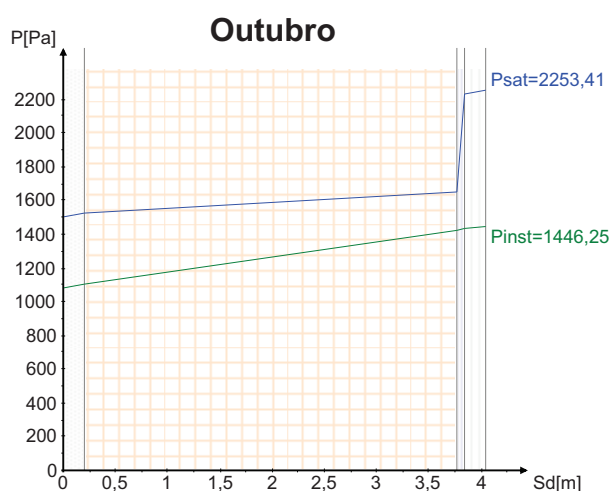
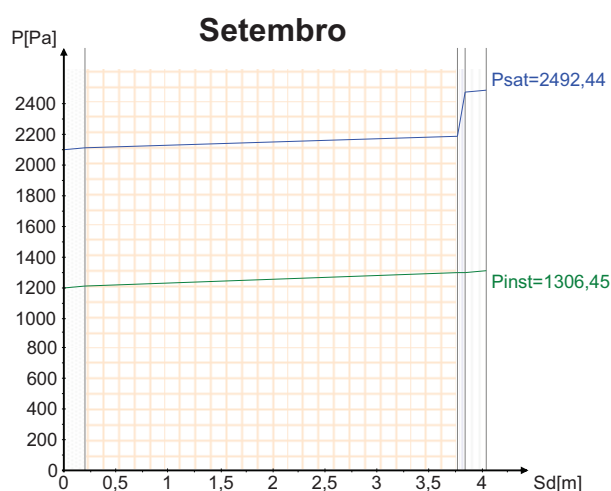
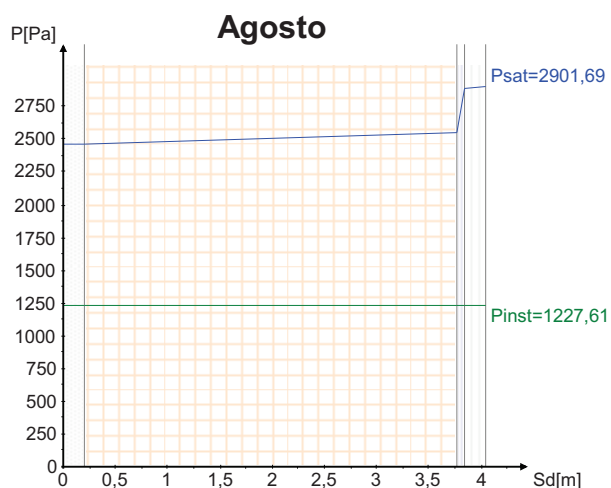
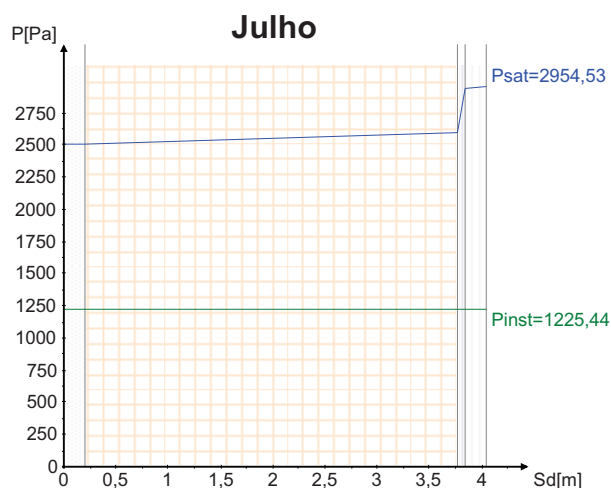
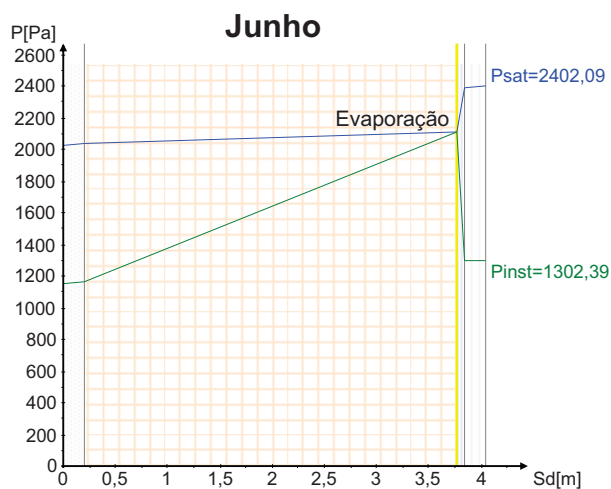
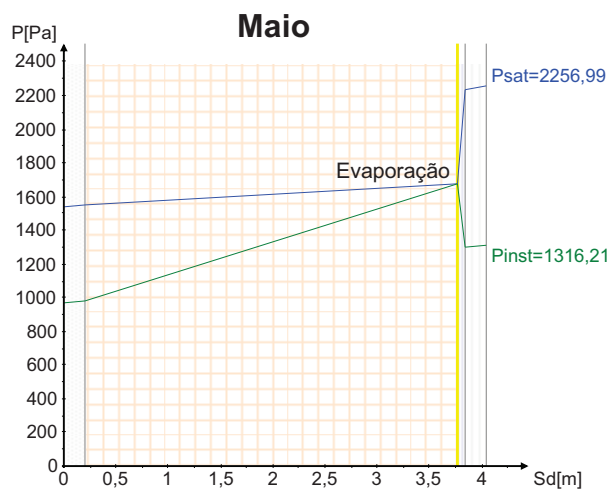
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Reboco	0,02	1	10	
Tijolo	0,22	0,4	16,2	
Lã Mineral	0,08	0,04	1	
Gesso Cartonado	0,02	0,25	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]	gc1 [kg/(m²s)]	Ma1 [kg/m²]
Novembro	720	8,0	79	847,043	20,0	4,7	1470,561	1,22E-07	0,3167
Dezembro	744	5,0	84	732,366	20,0	6	1524,188	2,98E-07	1,1161
Janeiro	744	4,5	83	698,777	20,0	6,2	1516,277	3,13E-07	1,9548
Fevereiro	672	5,9	77	714,696	20,0	5,7	1468,112	2,16E-07	2,4782
Março	744	8,0	68	729,101	20,0	4,7	1352,618	3,17E-08	2,5630
Abril	720	10,0	66	810,025	20,0	4	1342,526	-7,91E-08	2,3580
Maio	744	13,4	63	968,043	20,0	2,6	1316,211	-2,97E-07	1,5622
Junho	720	17,7	57	1153,817	20,7	1,1	1302,390	-6,24E-07	0
Julho	744	21,1	49	1225,436	24,1	0	1225,436	0,00E+00	0
Agosto	744	20,8	50	1227,606	23,8	0	1227,606	0,00E+00	0
Setembro	720	18,3	57	1198,175	21,3	0,8	1306,449	0,00E+00	0
Outubro	744	13,1	72	1084,880	20,0	2,7	1446,251	0,00E+00	0

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Vertical
Nº de camadas: 4





1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Porto

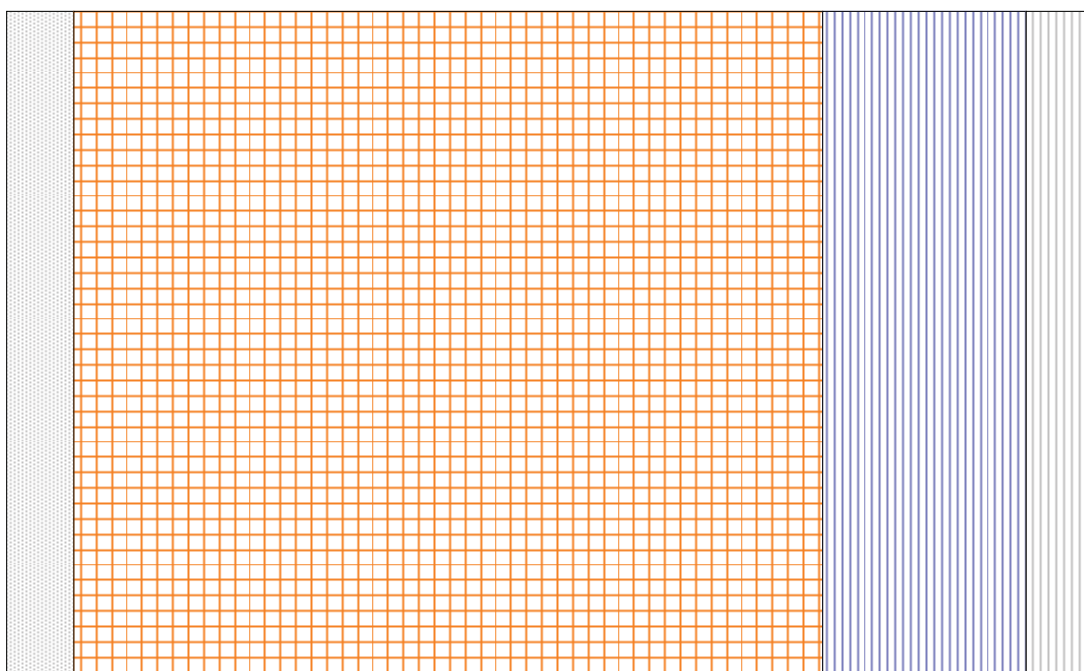
1.3 Condições Interiores

Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

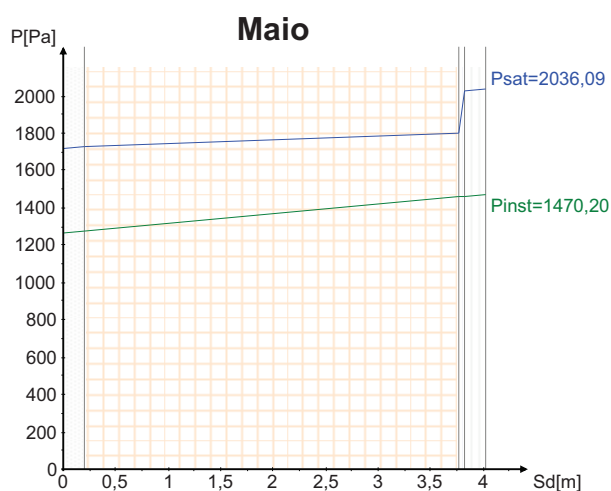
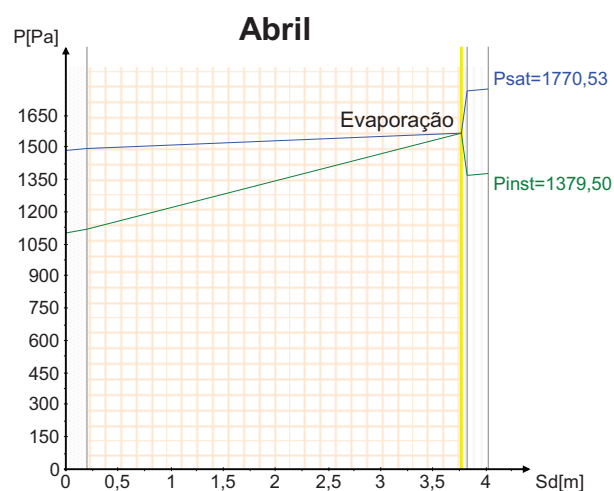
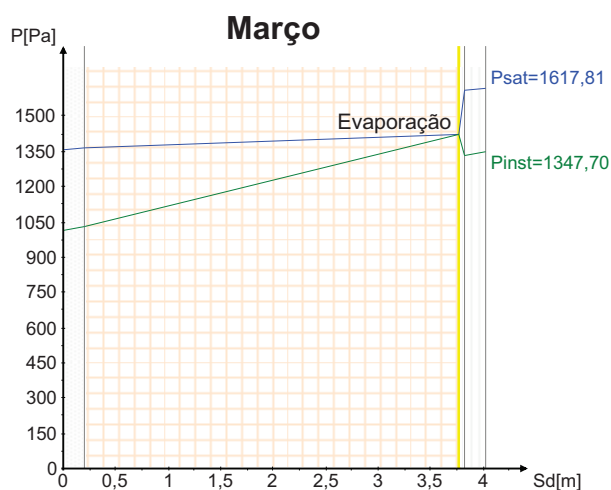
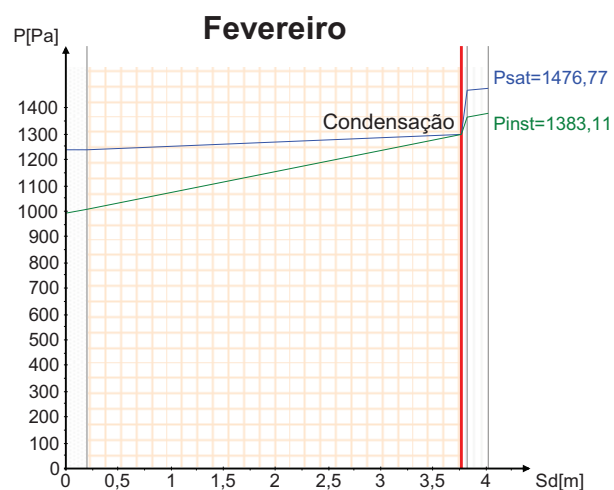
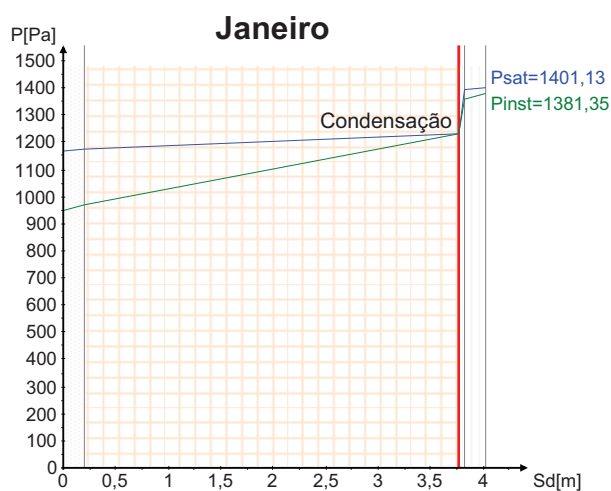
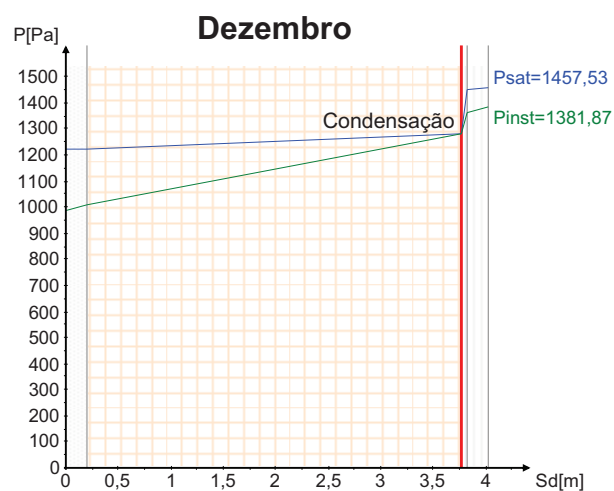
2. Camadas do Elemento Construtivo

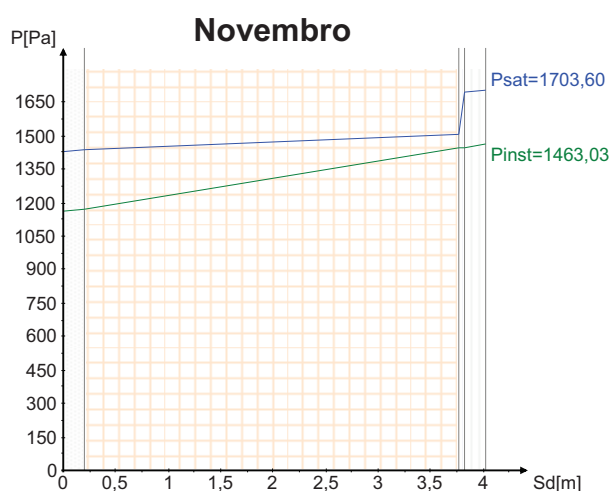
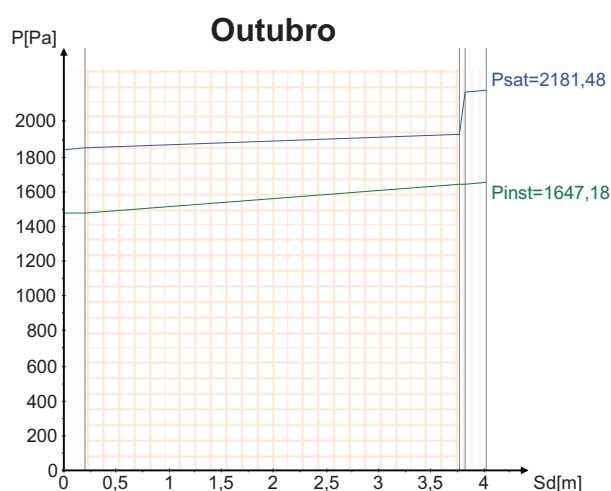
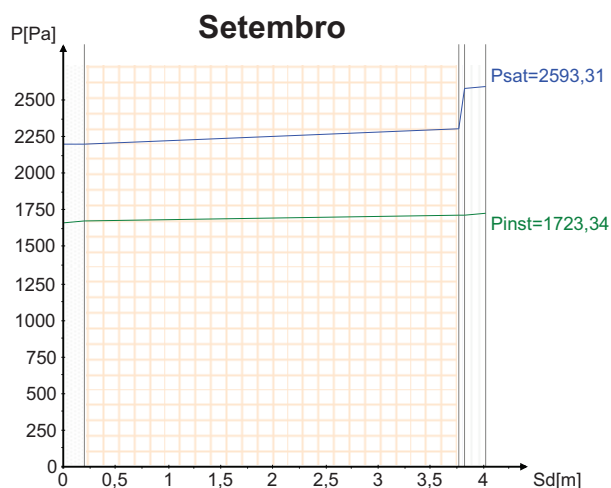
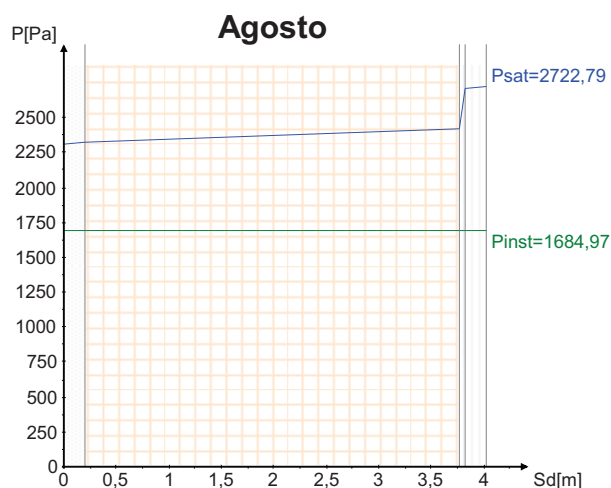
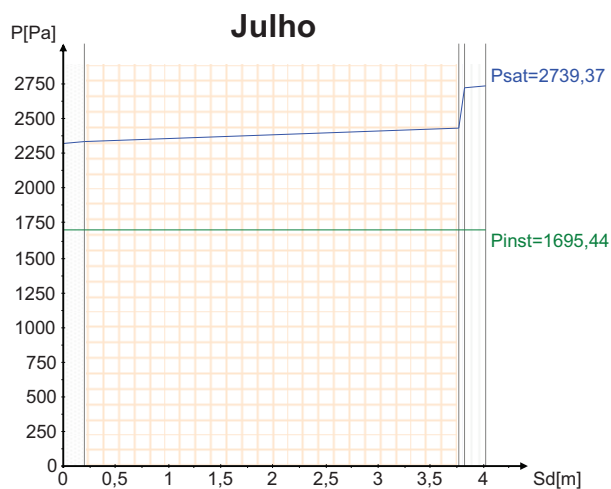
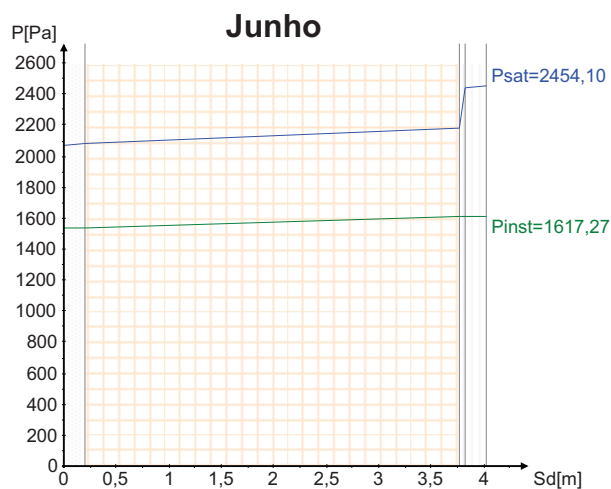
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Reboco	0,02	1	10	
Tijolo	0,22	0,4	16,2	
Lã Mineral	0,06	0,04	1	
Gesso Cartonado	0,02	0,25	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]	gc1 [kg/(m²s)]	Ma1 [kg/m²]
Dezembro	744	9,9	81	987,479	12,9	3	1381,866	6,13E-08	0,1643
Janeiro	744	9,3	81	948,443	12,3	3,3	1381,353	1,00E-07	0,4329
Fevereiro	672	10,1	80	988,446	13,1	3	1383,110	4,82E-08	0,5495
Março	744	11,5	75	1017,192	14,5	2,5	1347,696	-8,12E-08	0,3320
Abril	720	12,9	74	1100,524	15,9	2,1	1379,505	-1,65E-07	0
Maió	744	15,1	74	1269,404	18,1	1,5	1470,201	0,00E+00	0
Junho	720	18,1	74	1536,118	21,1	0,6	1617,268	0,00E+00	0
Julho	744	19,9	73	1695,443	22,9	0	1695,443	0,00E+00	0
Agosto	744	19,8	73	1684,969	22,8	0	1684,969	0,00E+00	0
Setembro	720	19,0	76	1669,075	22,0	0,4	1723,341	0,00E+00	0
Outubro	744	16,2	80	1472,498	19,2	1,3	1647,183	0,00E+00	0
Novembro	720	12,3	81	1158,120	15,3	2,3	1463,034	0,00E+00	0

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim

Tipo de elemento: Vertical

Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar

Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$





Localização: Portalegre

1.3 Condições Interiores

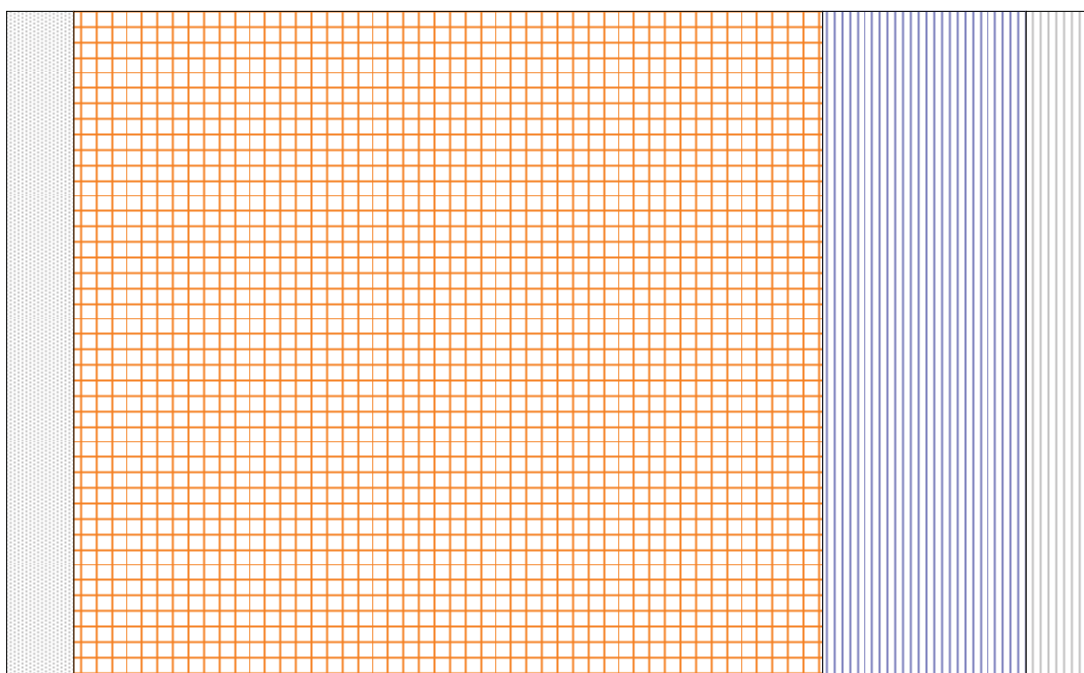
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$

Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

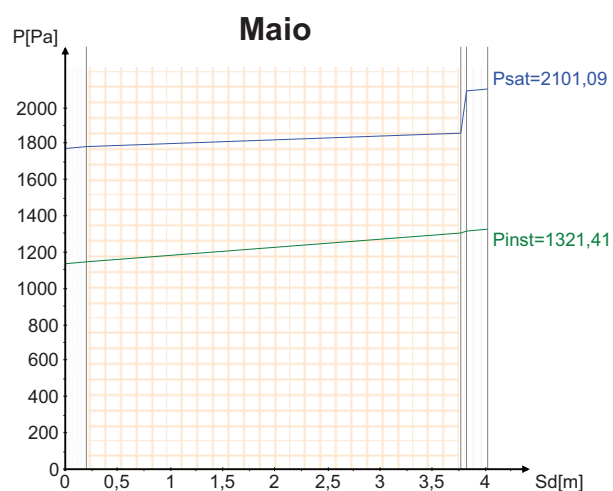
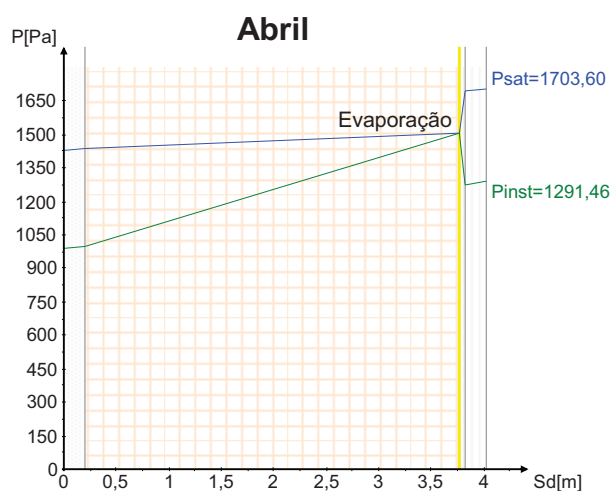
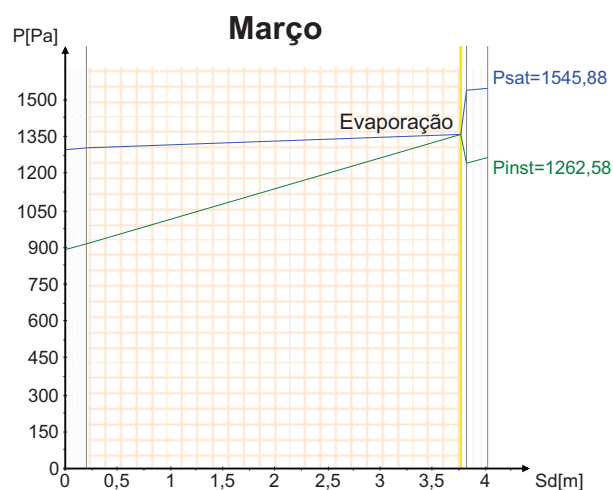
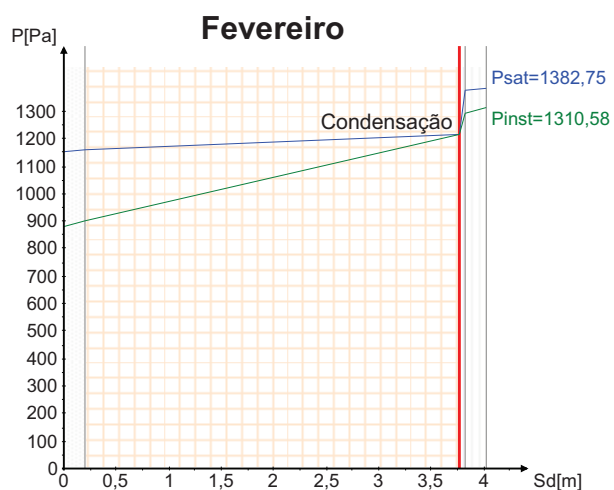
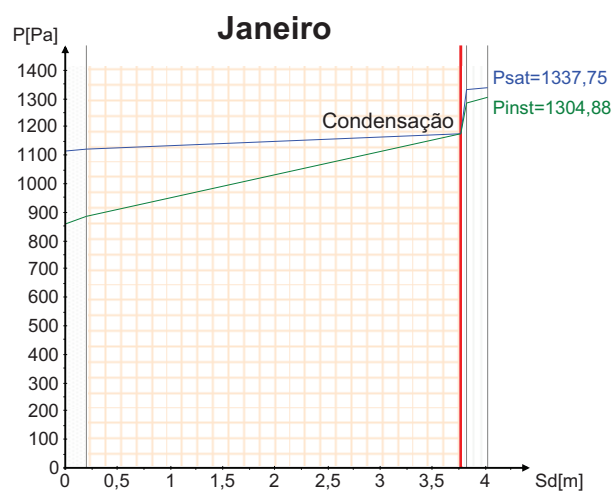
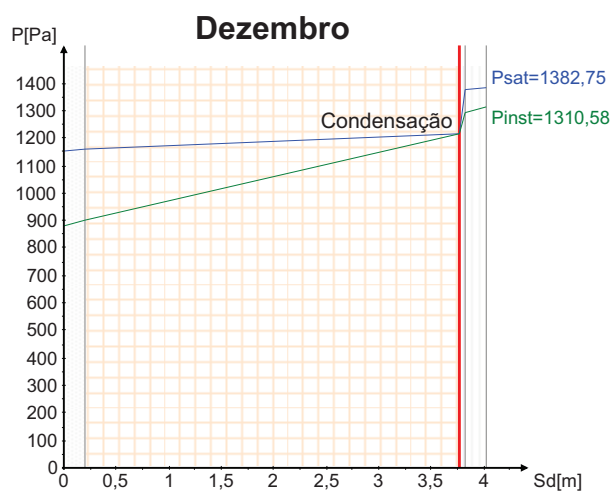
2. Camadas do Elemento Construtivo

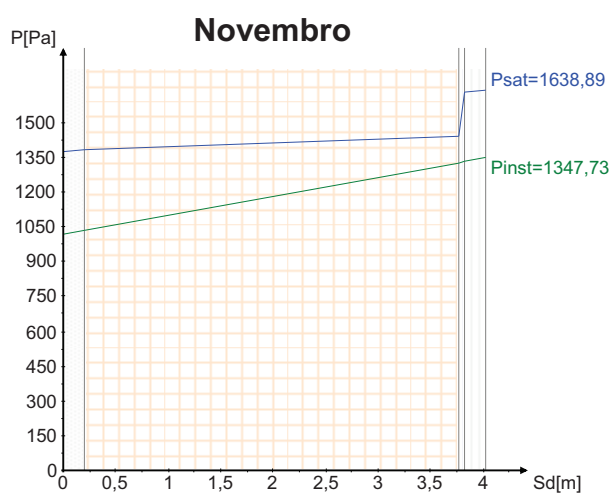
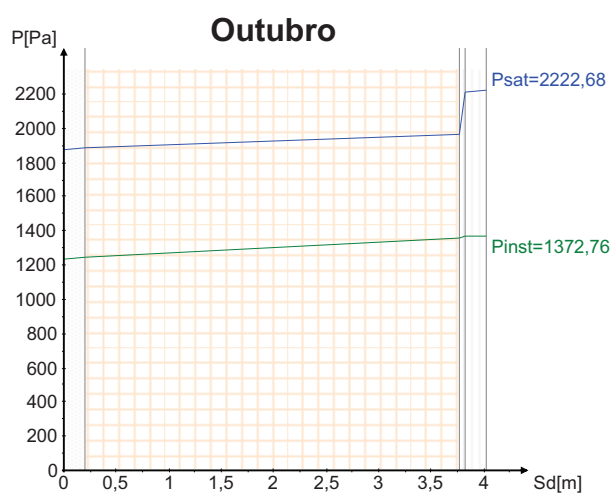
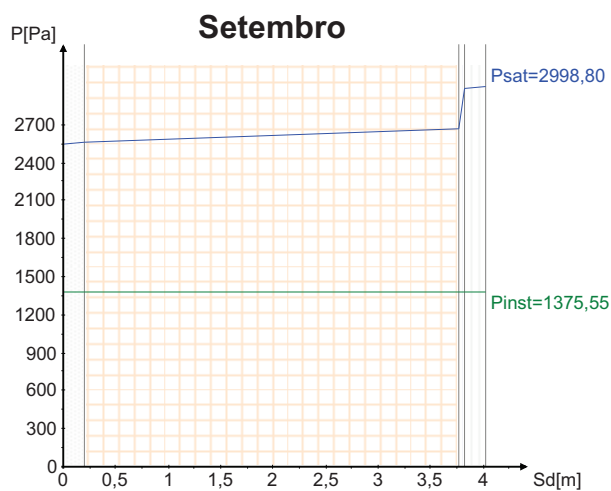
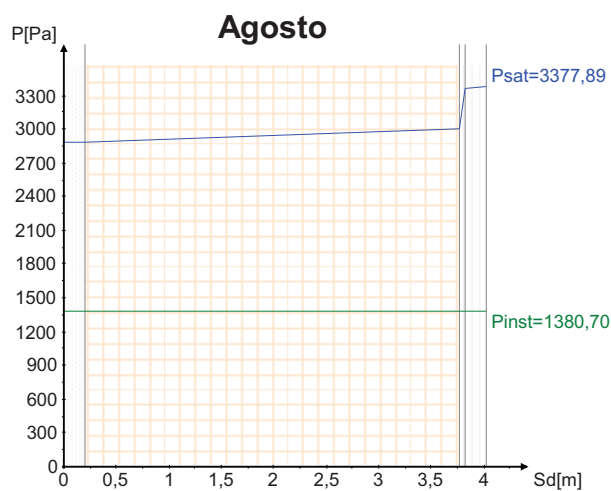
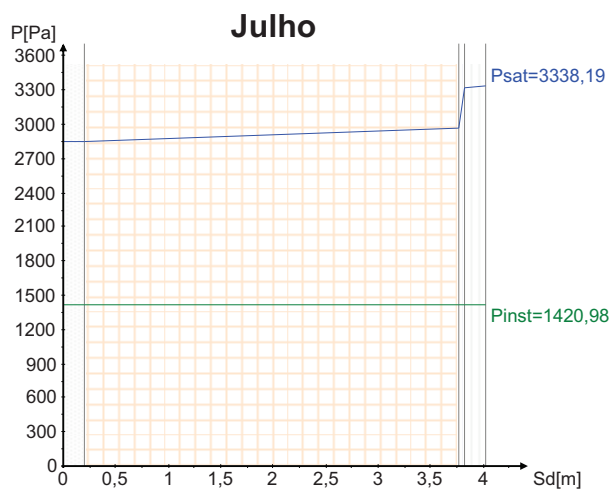
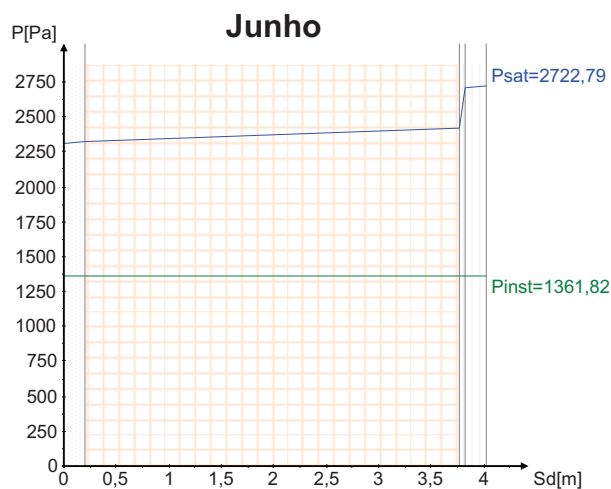
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Reboco	0,02	1	10	
Tijolo	0,22	0,4	16,2	
Lã Mineral	0,06	0,04	1	
Gesso Cartonado	0,02	0,25	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]	gc1 [kg/(m²s)]	Ma1 [kg/m²]
Dezembro	744	9,1	76	877,974	12,1	3,3	1310,579	5,56E-08	0,1489
Janeiro	744	8,6	77	859,948	11,6	3,4	1304,877	8,33E-08	0,3719
Fevereiro	672	9,1	76	877,974	12,1	3,3	1310,579	5,56E-08	0,5064
Março	744	10,8	69	893,323	13,8	2,8	1262,581	-1,00E-07	0,2376
Abril	720	12,3	69	986,547	15,3	2,3	1291,460	-1,89E-07	0
Maió	744	15,6	64	1133,675	18,6	1,4	1321,409	0,00E+00	0
Junho	720	19,8	59	1361,824	22,8	0	1361,824	0,00E+00	0
Julho	744	23,2	50	1420,977	26,2	0	1420,977	0,00E+00	0
Agosto	744	23,4	48	1380,700	26,4	0	1380,700	0,00E+00	0
Setembro	720	21,4	54	1375,546	24,4	0	1375,546	0,00E+00	0
Outubro	744	16,5	66	1238,247	19,5	1	1372,758	0,00E+00	0
Novembro	720	11,7	74	1016,996	14,7	2,5	1347,730	0,00E+00	0

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim

Tipo de elemento: Vertical

Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar

Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$





Localização: Coimbra

1.3 Condições Interiores

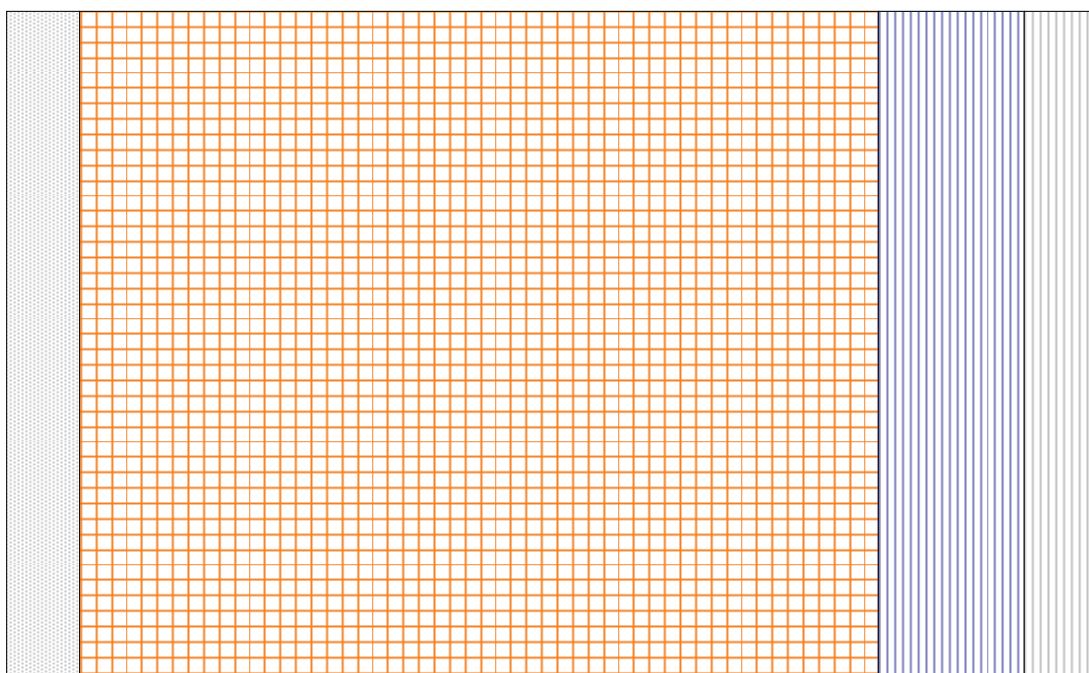
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$

Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

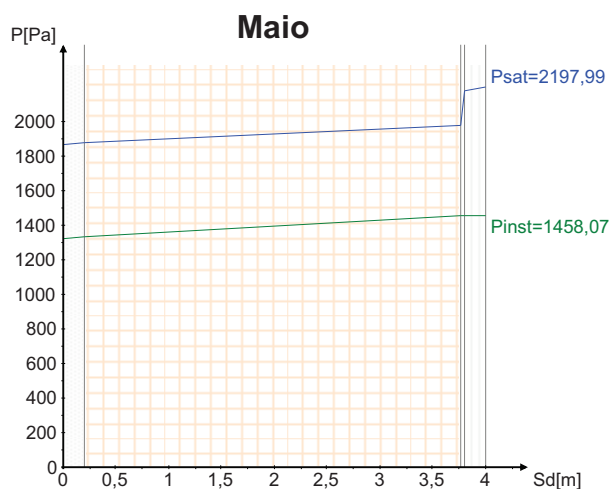
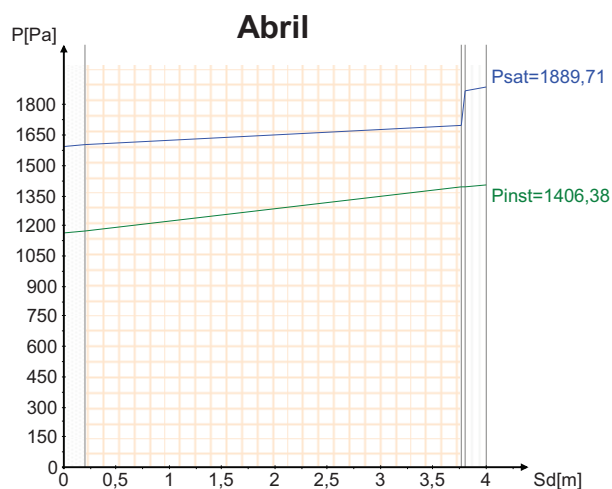
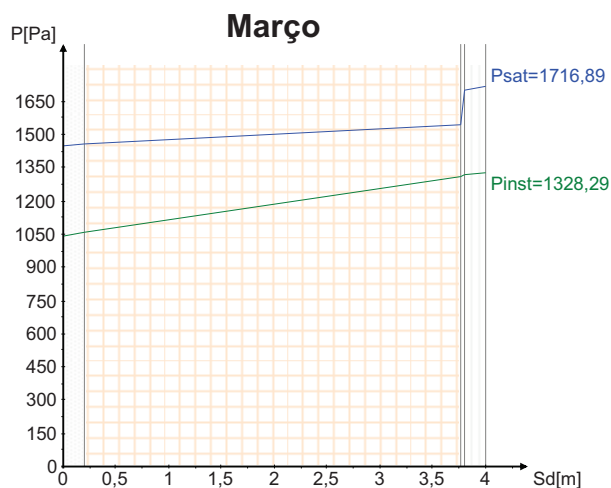
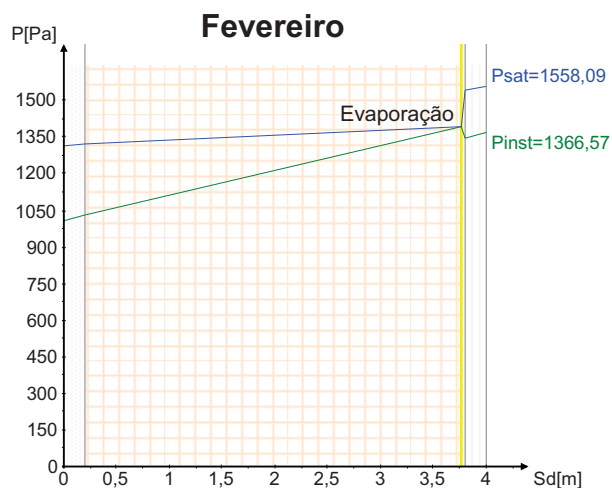
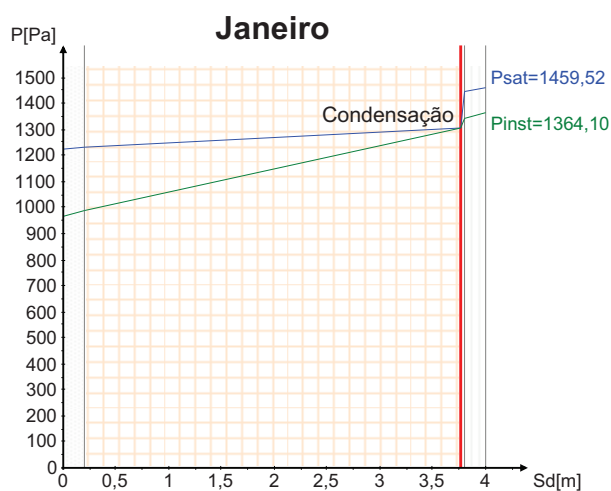
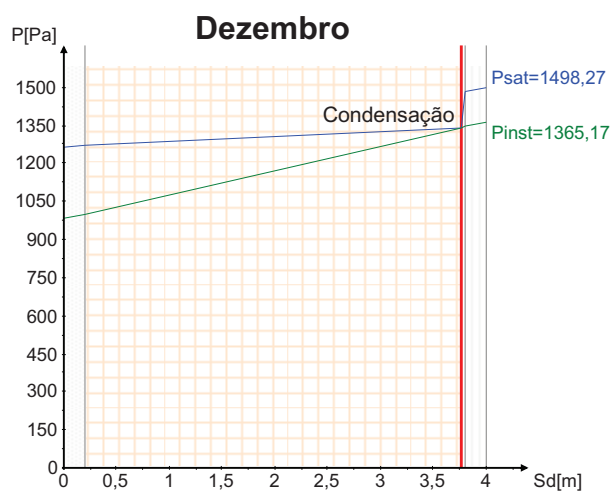
2. Camadas do Elemento Construtivo

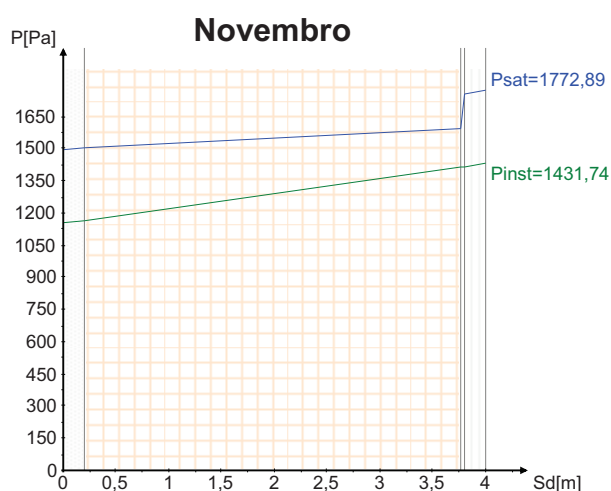
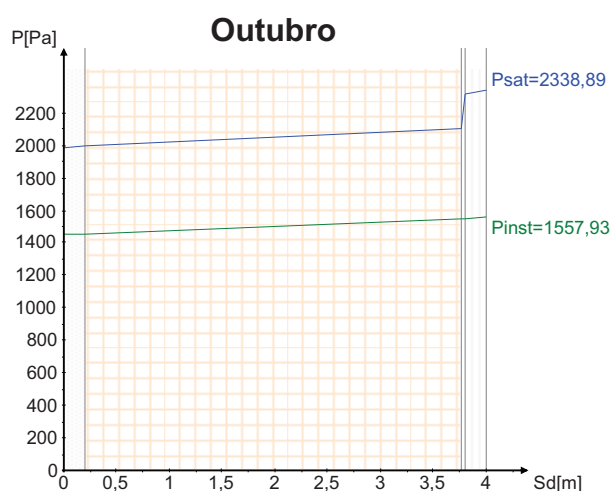
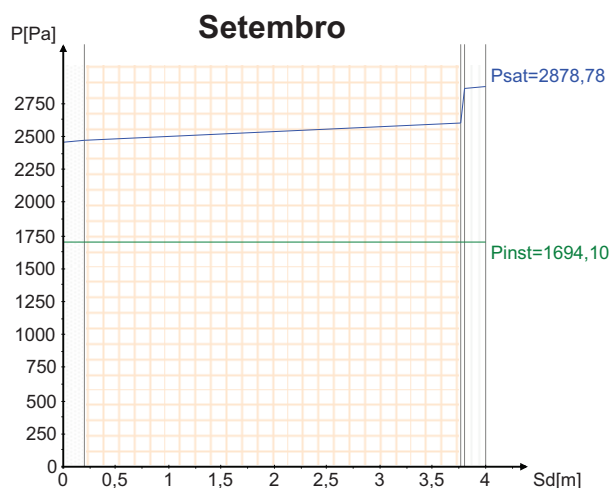
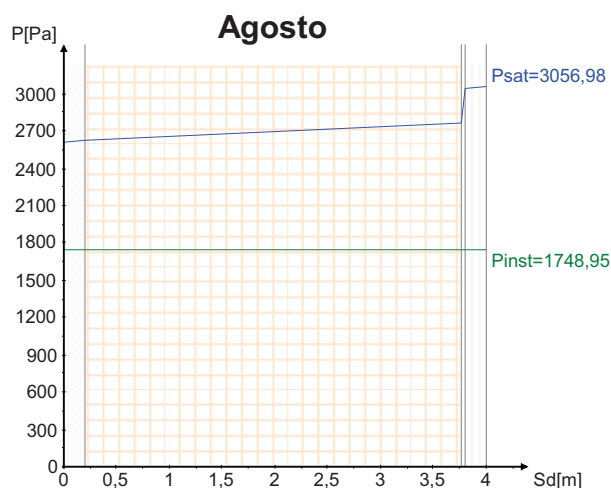
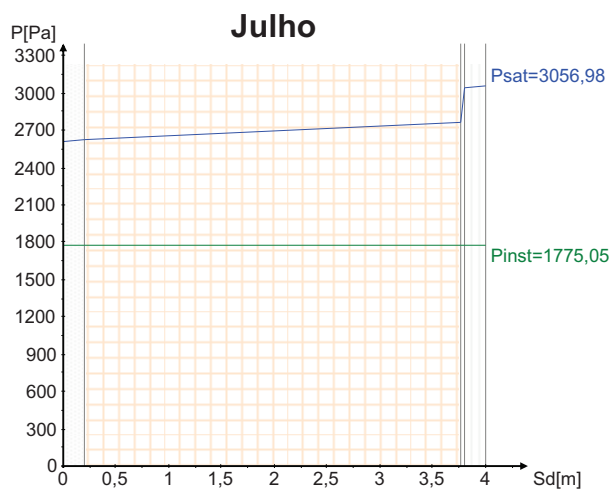
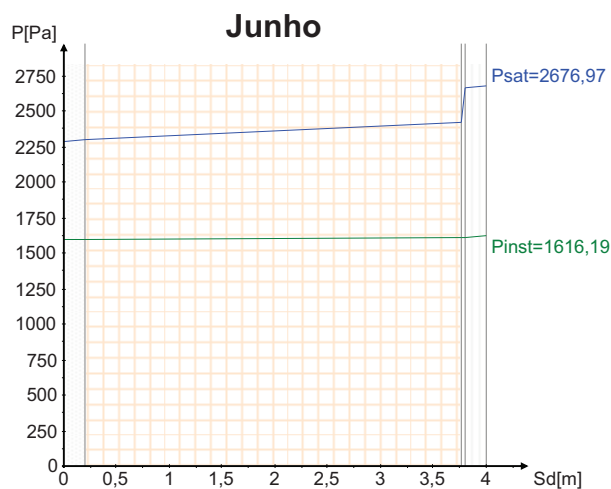
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Reboco	0,02	1	10	
Tijolo	0,22	0,4	16,2	
Lã Mineral	0,04	0,04	1	
Gesso Cartonado	0,02	0,25	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	Δv [g/m³]	P_i [Pa]	$gc1$ [kg/(m²s)]	$Ma1$ [kg/m²]
Dezembro	744	10,4	78	983,264	13,4	2,9	1365,174	2,79E-11	0,0001
Janeiro	744	10,0	79	969,575	13,0	3	1364,100	2,96E-08	0,0793
Fevereiro	672	11,0	77	1010,249	14,0	2,7	1366,568	-4,55E-08	0
Março	744	12,5	72	1043,062	15,5	2,15	1328,288	0,00E+00	0
Abril	720	14,0	73	1166,343	17,0	1,8	1406,385	0,00E+00	0
Maió	744	16,4	71	1323,603	19,4	1	1458,068	0,00E+00	0
Junho	720	19,6	70	1595,798	22,6	0,15	1616,190	0,00E+00	0
Julho	744	21,8	68	1775,051	24,8	0	1775,051	0,00E+00	0
Agosto	744	21,8	67	1748,948	24,8	0	1748,948	0,00E+00	0
Setembro	720	20,8	69	1694,096	23,8	0	1694,096	0,00E+00	0
Outubro	744	17,4	73	1449,988	20,4	0,8	1557,930	0,00E+00	0
Novembro	720	13,0	77	1152,657	16,0	2,1	1431,735	0,00E+00	0

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim

Tipo de elemento: Vertical

Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar

Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Localização: Lisboa

1.3 Condições Interiores

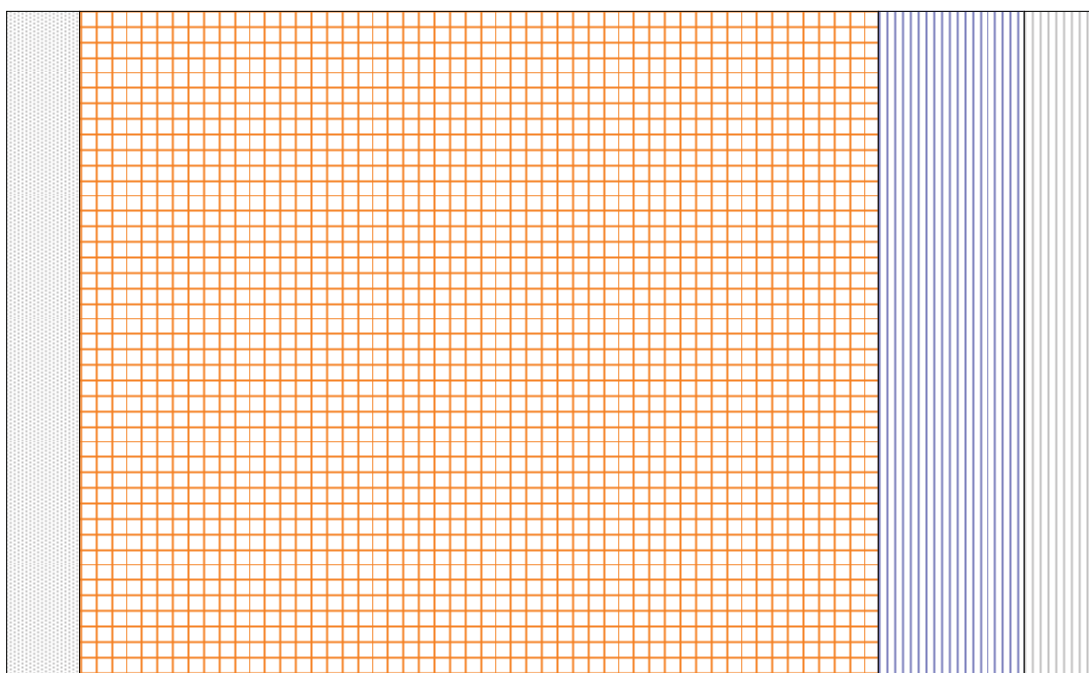
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$

Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

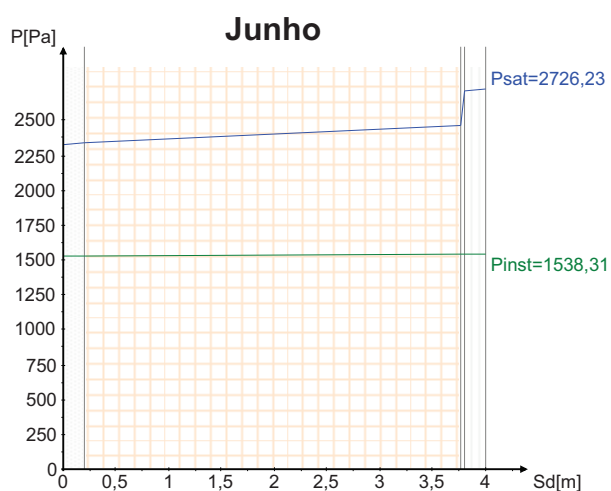
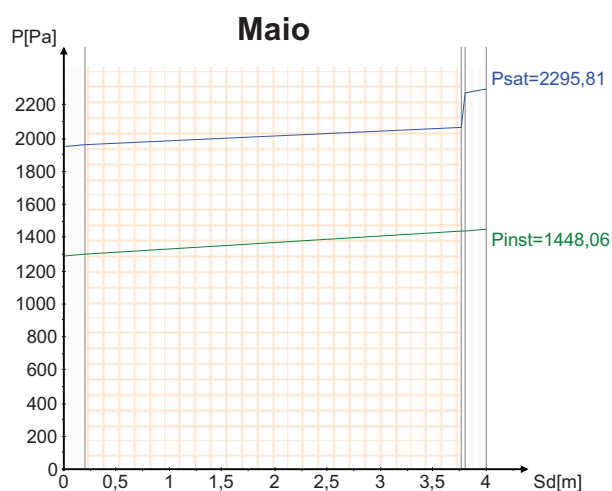
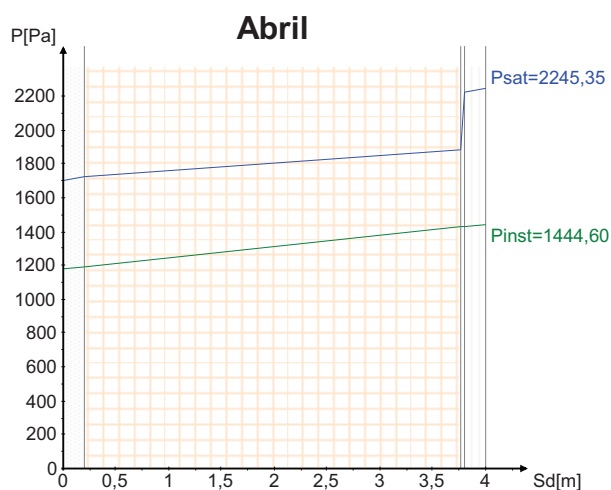
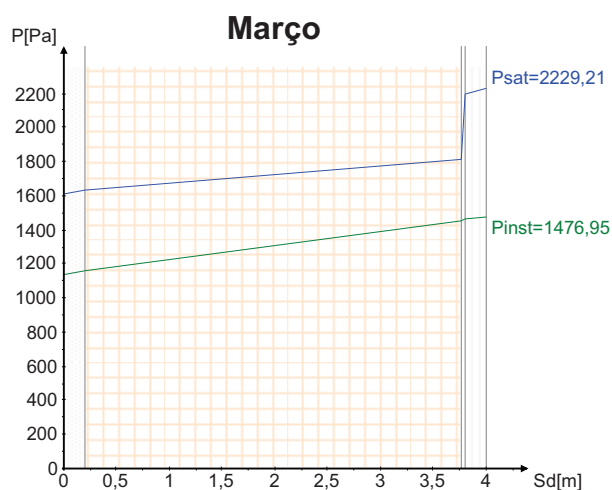
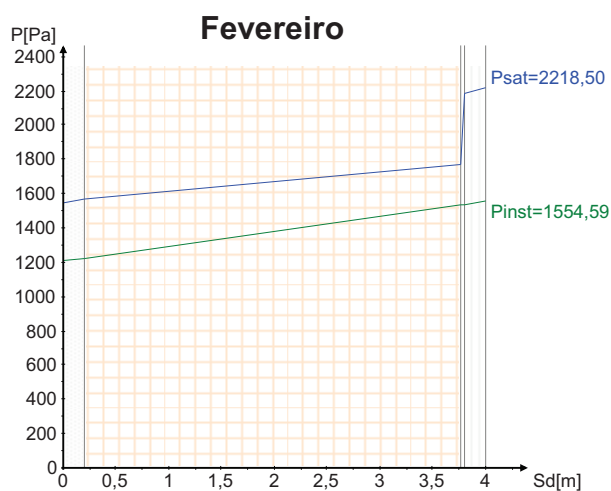
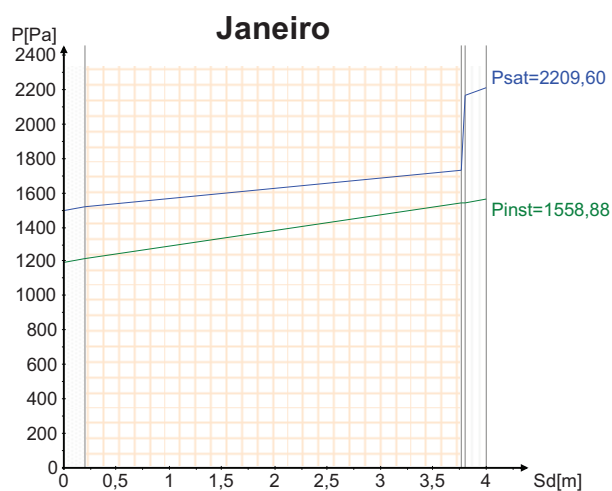
2. Camadas do Elemento Construtivo

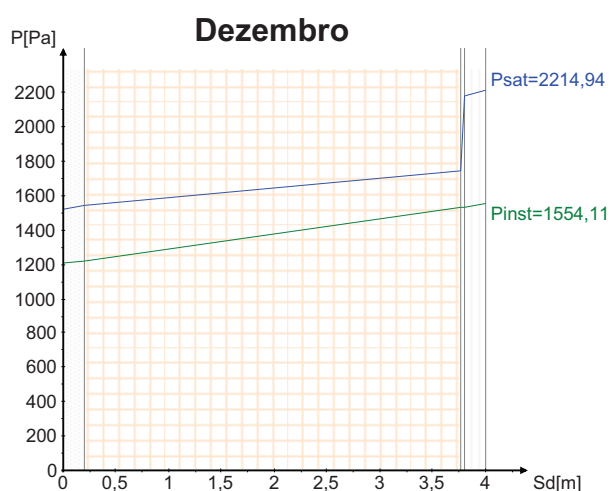
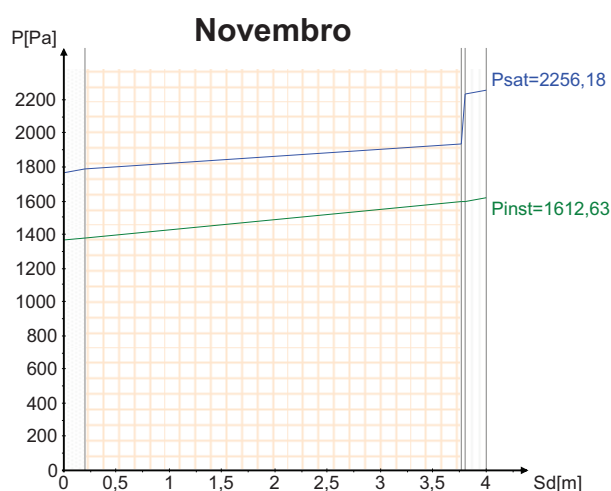
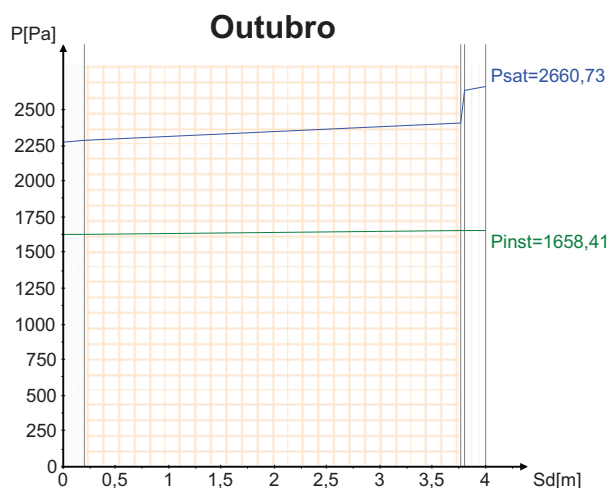
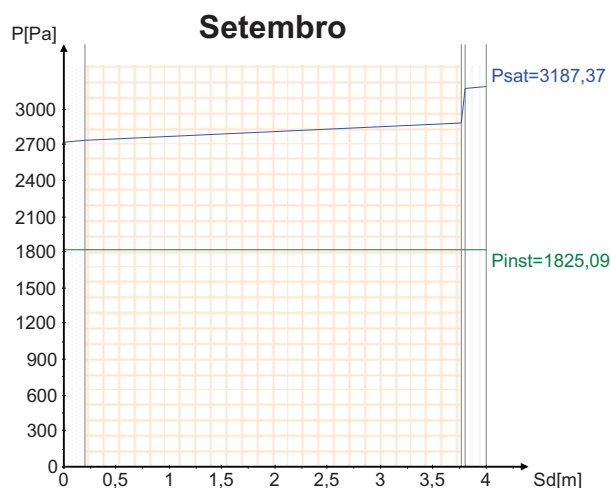
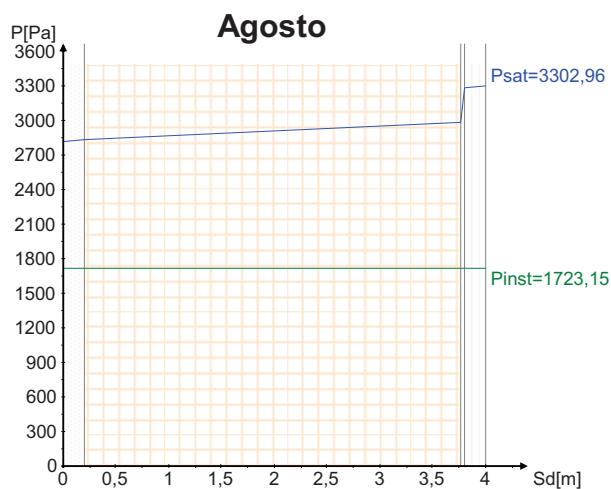
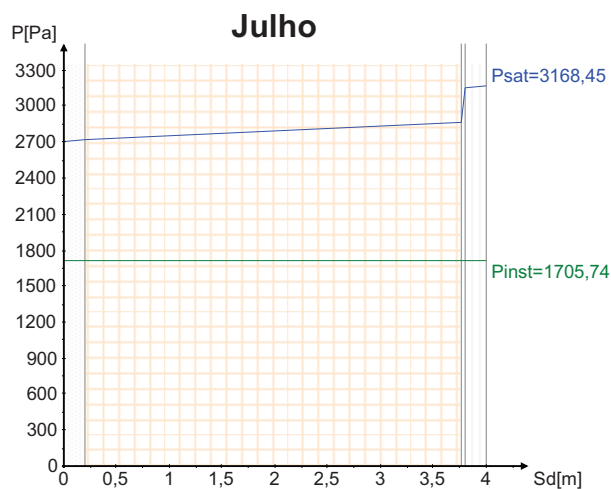
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Reboco	0,02	1	10	
Tijolo	0,22	0,4	16,2	
Lã Mineral	0,04	0,04	1	
Gesso Cartonado	0,02	0,25	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]
Janeiro	744	13,0	80	1197,566	20,0	2,7	1558,875
Fevereiro	672	13,5	78	1206,367	20,0	2,6	1554,595
Março	744	14,1	71	1141,771	20,0	2,5	1476,952
Abril	720	15,0	69	1176,041	20,0	2	1444,602
Maiο	744	17,1	66	1286,310	20,1	1,2	1448,056
Junho	720	19,9	66	1532,866	22,9	0,04	1538,310
Julho	744	22,4	63	1705,737	25,4	0	1705,737
Agosto	744	23,1	61	1723,150	26,1	0	1723,150
Setembro	720	22,5	67	1825,089	25,5	0	1825,089
Outubro	744	19,5	72	1631,228	22,5	0,2	1658,408
Novembro	720	15,6	77	1363,953	20,0	1,85	1612,628
Dezembro	744	13,3	79	1206,003	20,0	2,6	1554,111

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise!

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Vertical
Nº de camadas: 4





1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Ponta Delgada

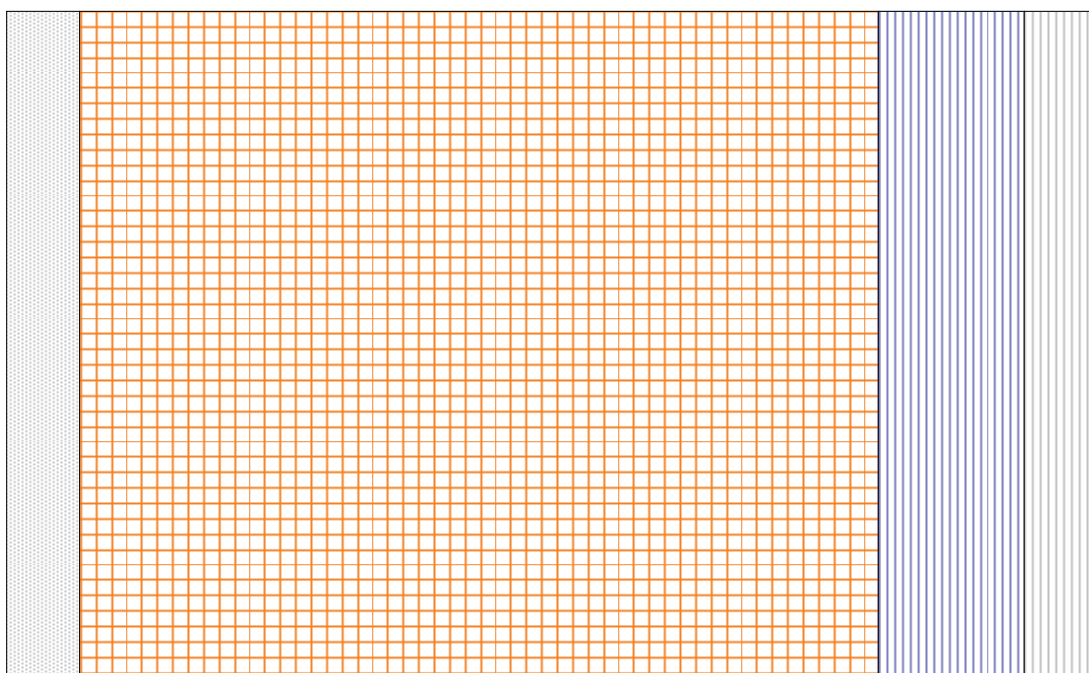
1.3 Condições Interiores

Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

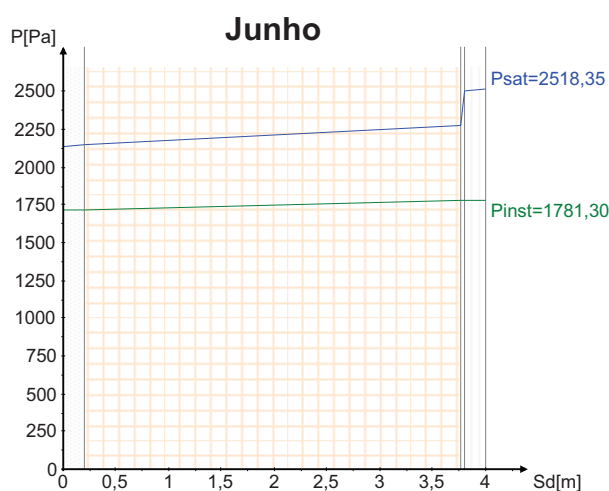
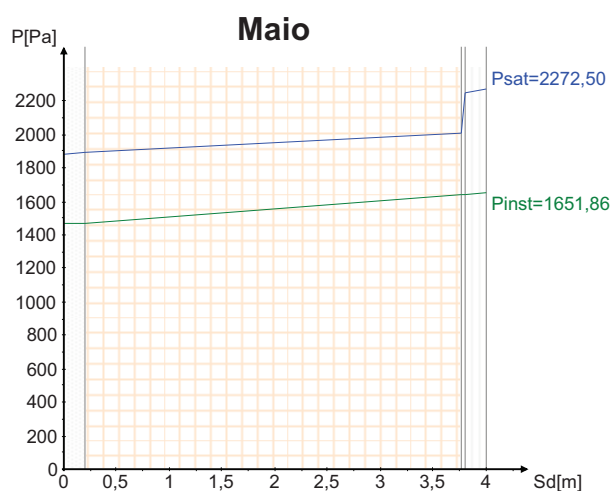
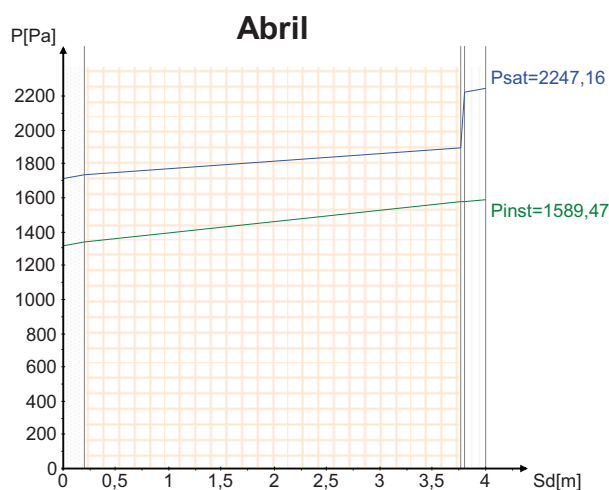
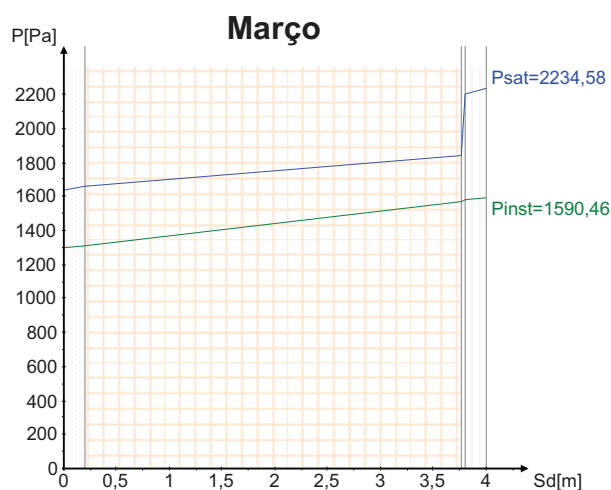
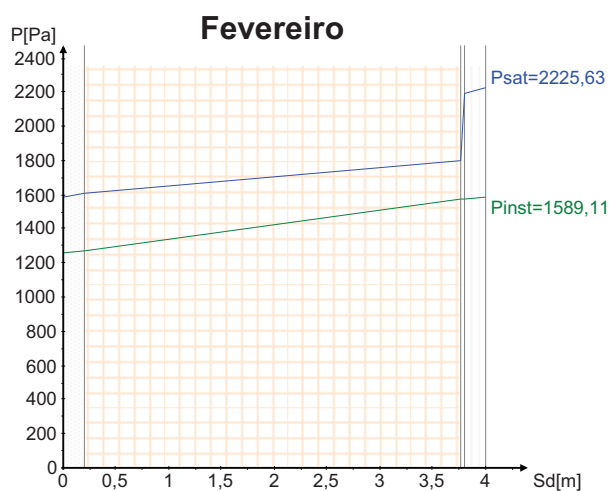
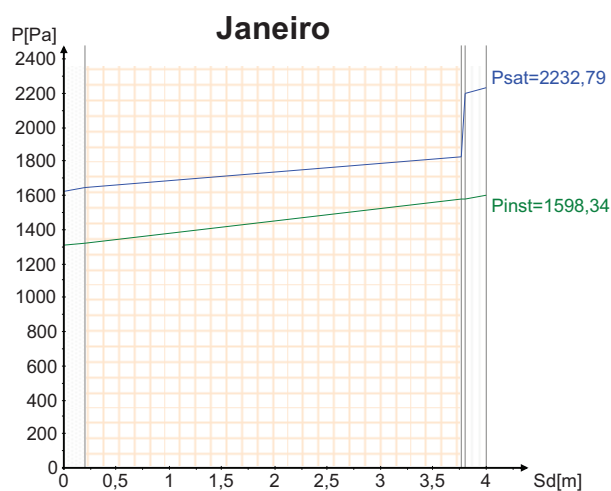
2. Camadas do Elemento Construtivo

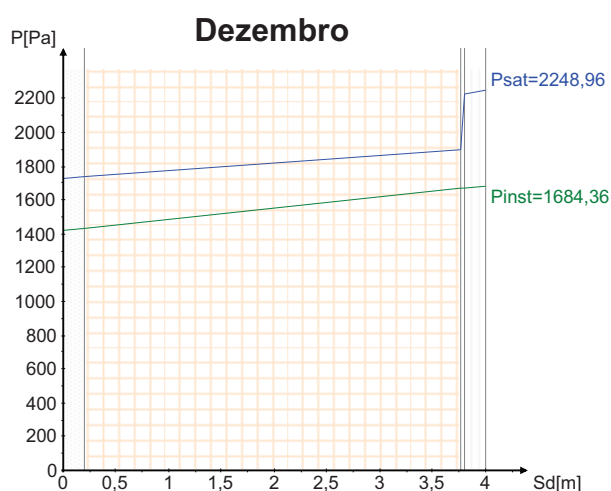
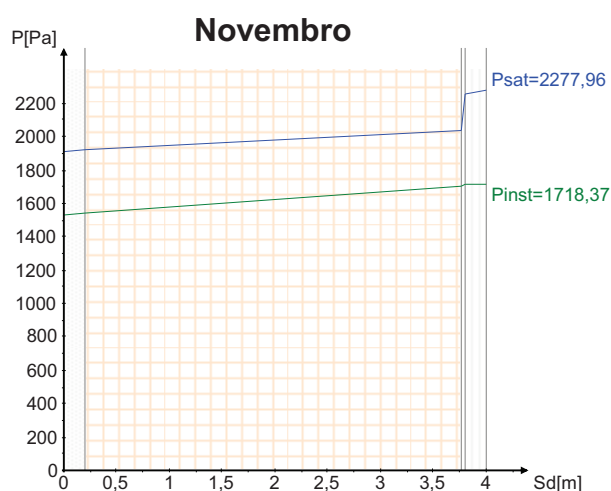
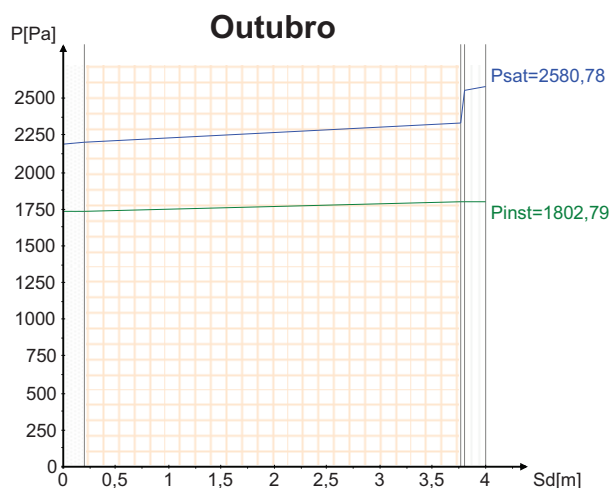
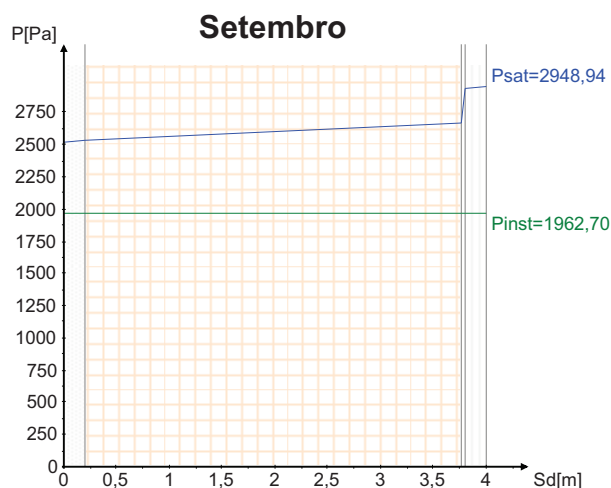
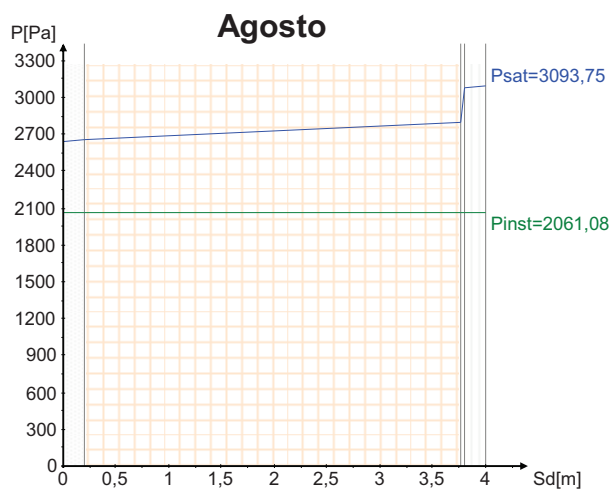
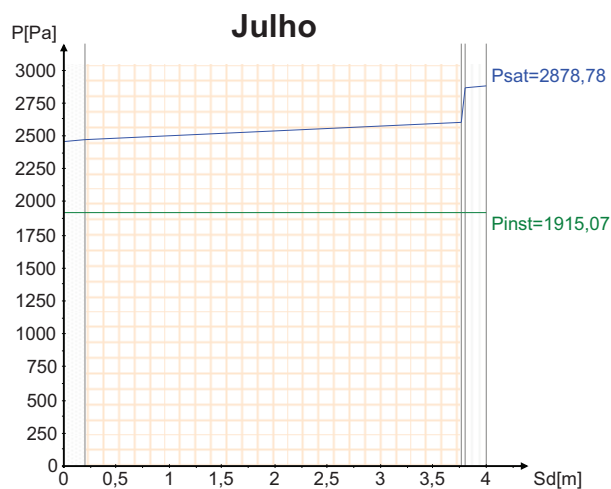
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Reboco	0,02	1	10	
Tijolo	0,22	0,4	16,2	
Lã Mineral	0,04	0,04	1	
Gesso Cartonado	0,02	0,25	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	Δv [g/m³]	P_i [Pa]
Janeiro	744	14,3	80	1303,281	20,0	2,2	1598,342
Fevereiro	672	13,9	79	1254,040	20,0	2,5	1589,106
Março	744	14,4	79	1295,345	20,0	2,2	1590,456
Abril	720	15,1	77	1320,866	20,0	2	1589,473
Maió	744	16,5	78	1463,383	20,0	1,4	1651,860
Junho	720	18,6	80	1713,556	21,6	0,5	1781,296
Julho	744	20,8	78	1915,065	23,8	0	1915,065
Agosto	744	22,0	78	2061,079	25,0	0	2061,079
Setembro	720	21,2	78	1962,698	24,2	0	1962,698
Outubro	744	19,0	79	1734,959	22,0	0,5	1802,793
Novembro	720	16,8	80	1529,792	20,0	1,4	1718,366
Dezembro	744	15,2	82	1415,711	20,0	2	1684,364

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise!

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim

Tipo de elemento: Vertical

Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar

Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Localização: Lisboa

1.3 Condições Interiores

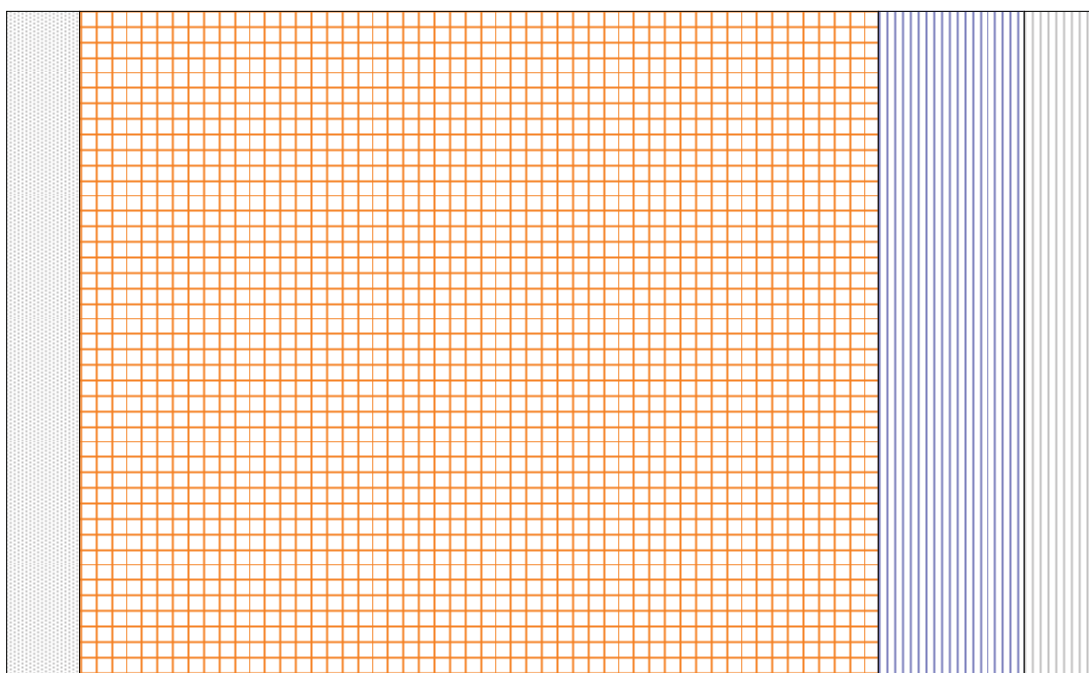
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$

Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

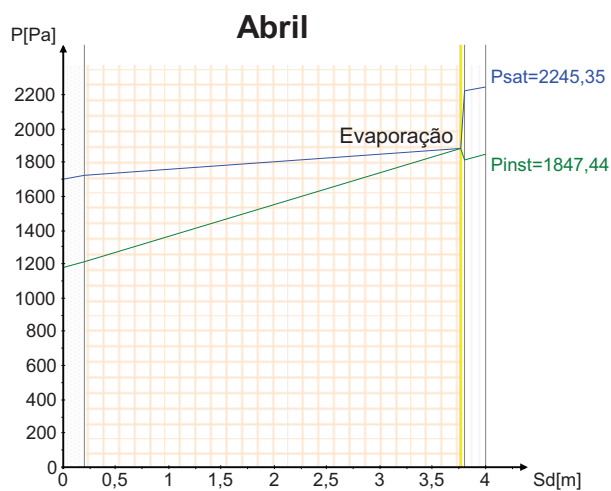
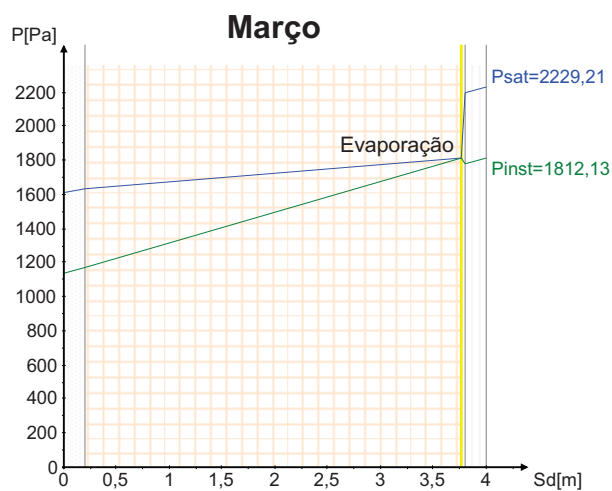
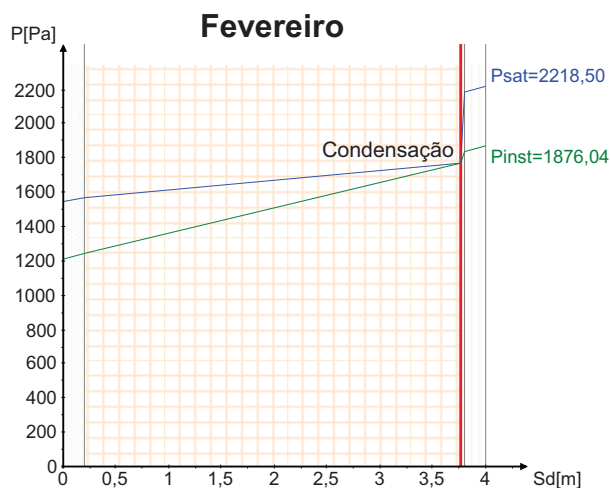
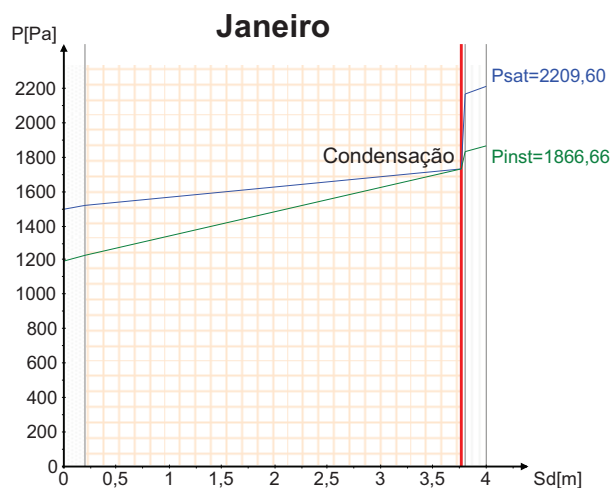
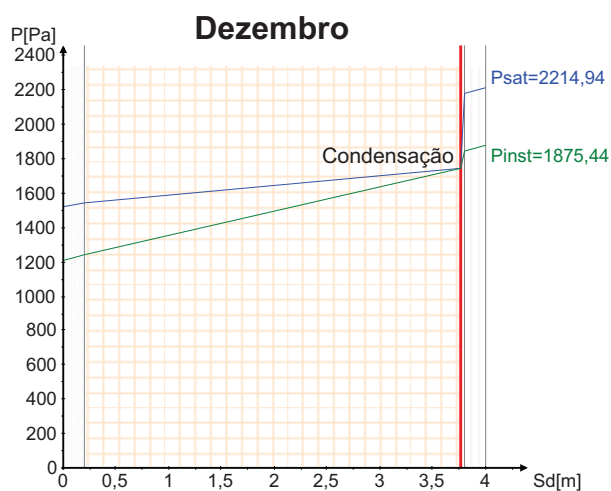
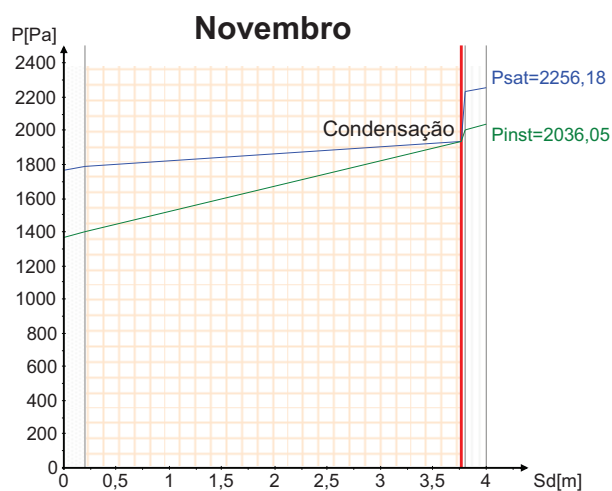
2. Camadas do Elemento Construtivo

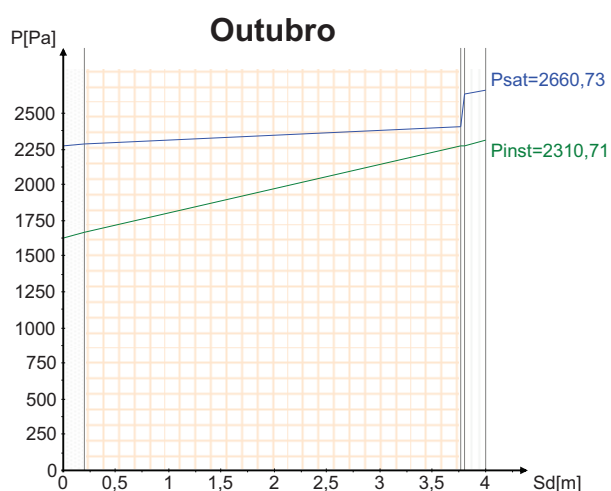
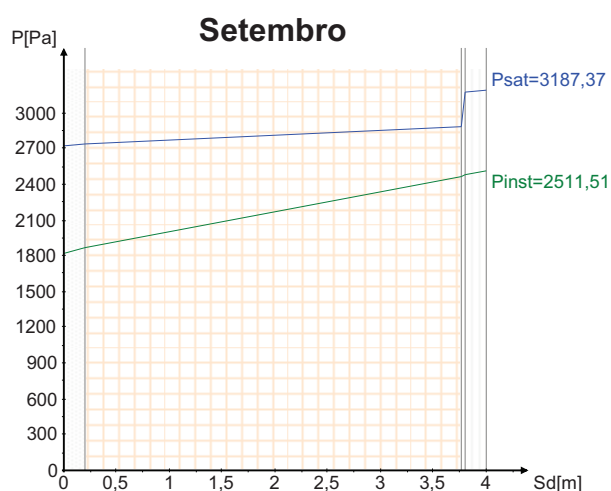
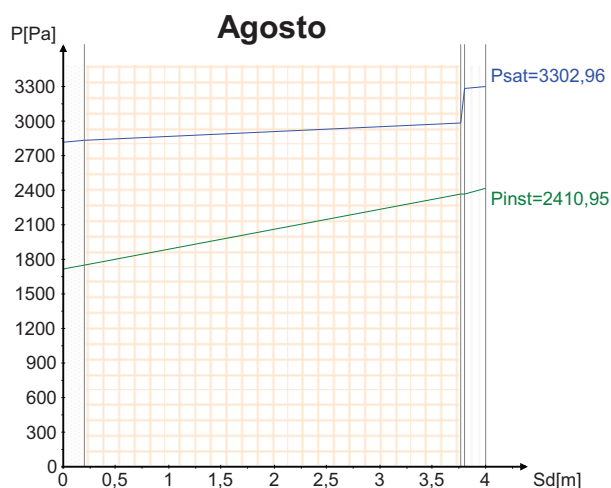
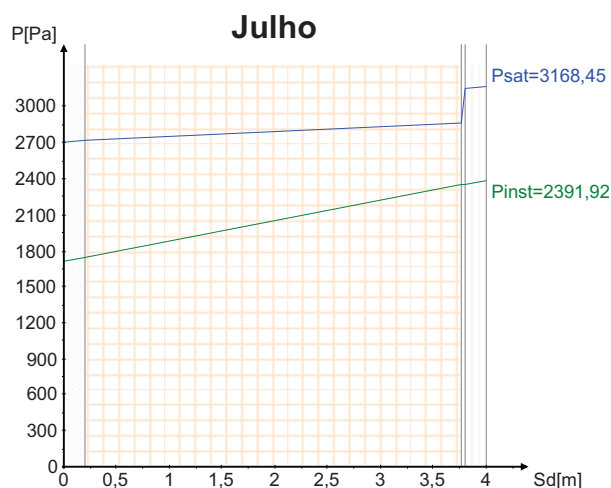
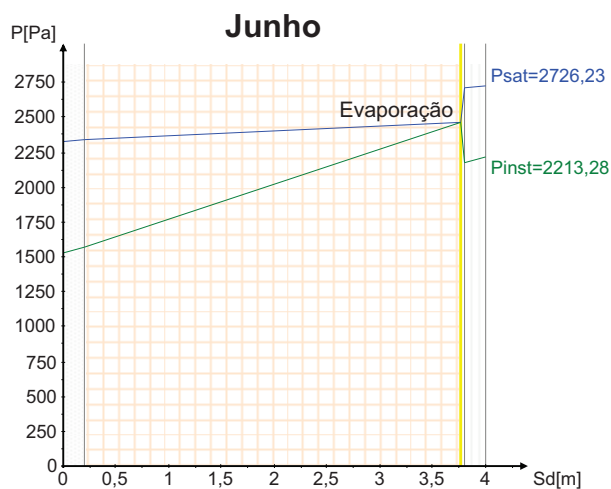
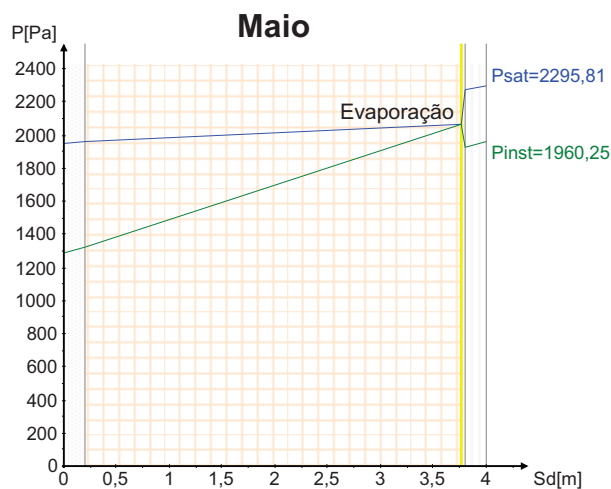
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Reboco	0,02	1	10	
Tijolo	0,22	0,4	16,2	
Lã Mineral	0,04	0,04	1	
Gesso Cartonado	0,02	0,25	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]	gc1 [kg/(m²s)]	Ma1 [kg/m²]
Novembro	720	15,6	77	1363,953	20,0	5	2036,048	5,42E-08	0,1405
Dezembro	744	13,3	79	1206,003	20,0	5	1875,441	7,60E-08	0,3441
Janeiro	744	13,0	80	1197,566	20,0	5	1866,658	8,86E-08	0,5814
Fevereiro	672	13,5	78	1206,367	20,0	5	1876,036	6,28E-08	0,7334
Março	744	14,1	71	1141,771	20,0	5	1812,133	-3,56E-08	0,6381
Abril	720	15,0	69	1176,041	20,0	5	1847,443	-6,88E-08	0,4599
Maio	744	17,1	66	1286,310	20,1	5	1960,252	-1,32E-07	0,1071
Junho	720	19,9	66	1532,866	22,9	5	2213,277	-2,56E-07	0
Julho	744	22,4	63	1705,737	25,4	5	2391,922	0,00E+00	0
Agosto	744	23,1	61	1723,150	26,1	5	2410,953	0,00E+00	0
Setembro	720	22,5	67	1825,089	25,5	5	2511,505	0,00E+00	0
Outubro	744	19,5	72	1631,228	22,5	5	2310,715	0,00E+00	0

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim

Tipo de elemento: Vertical

Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar

Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$





Localização: Ponta Delgada

1.3 Condições Interiores

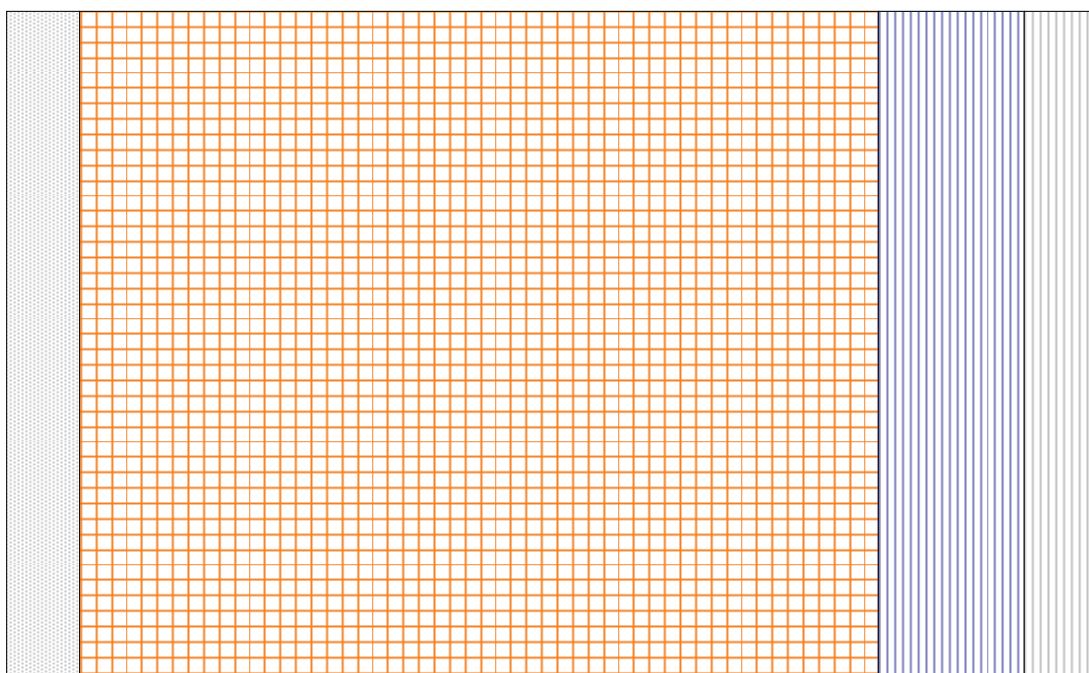
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$

Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

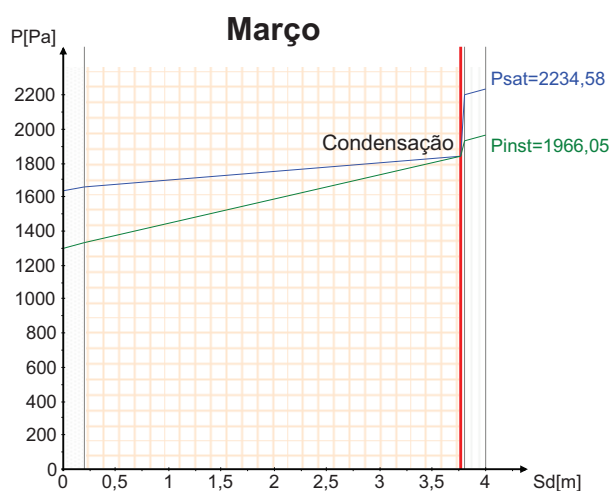
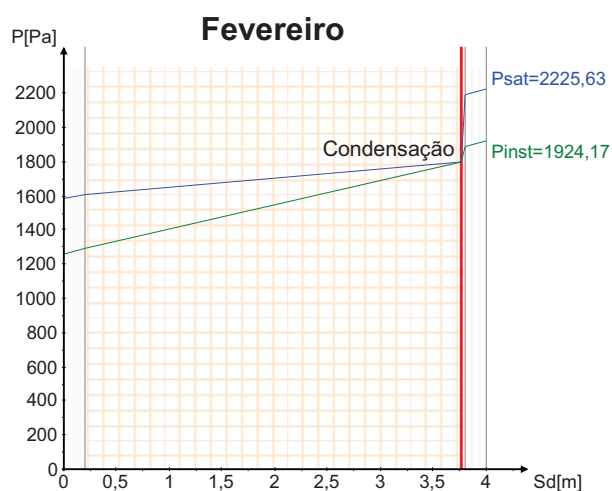
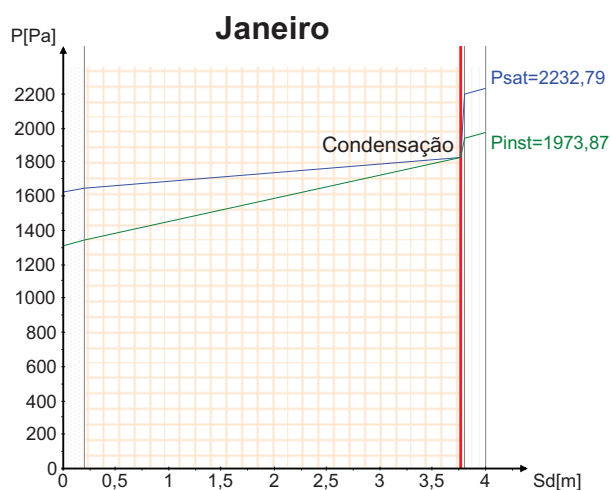
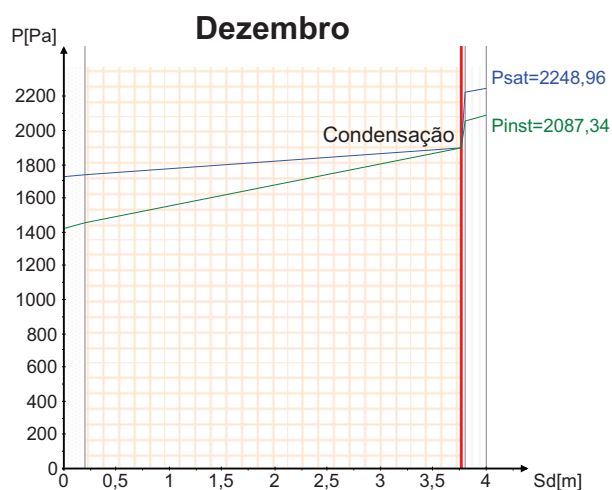
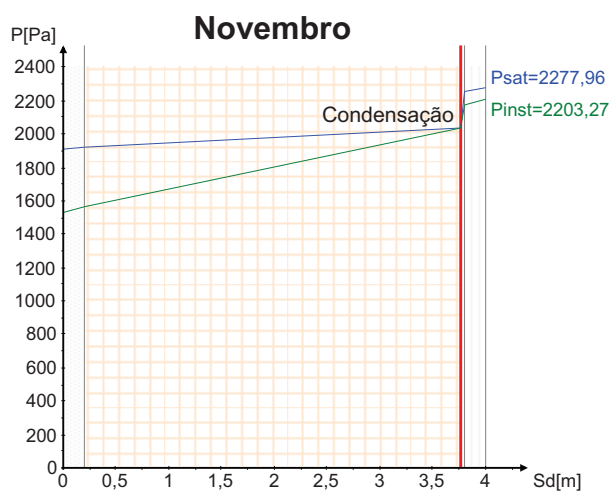
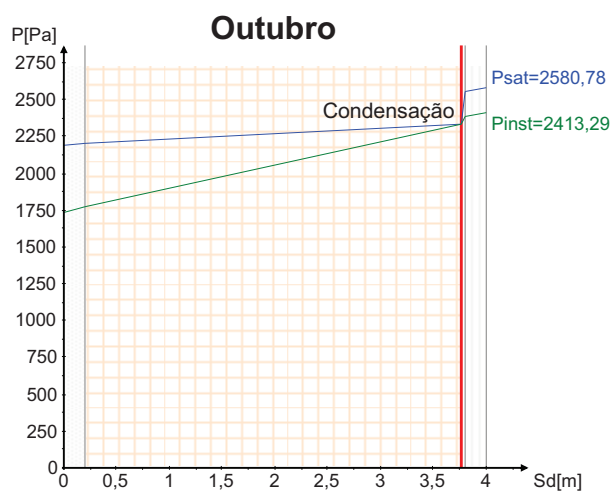
2. Camadas do Elemento Construtivo

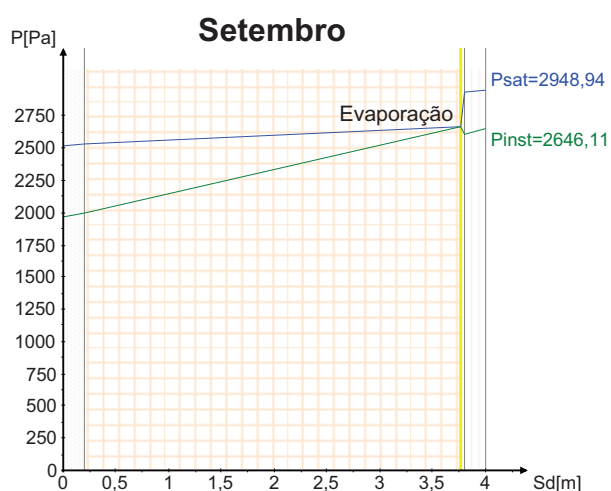
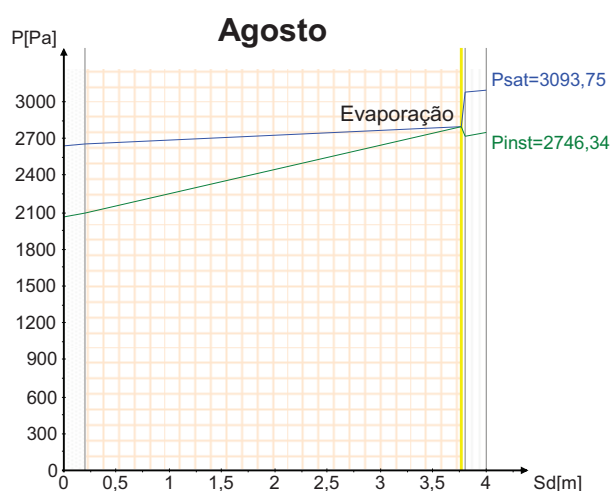
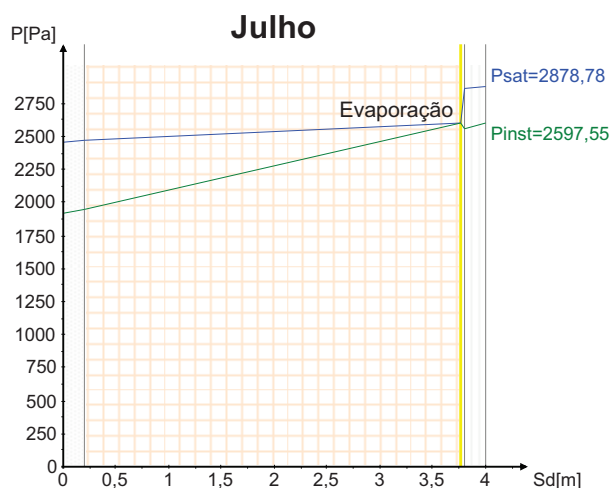
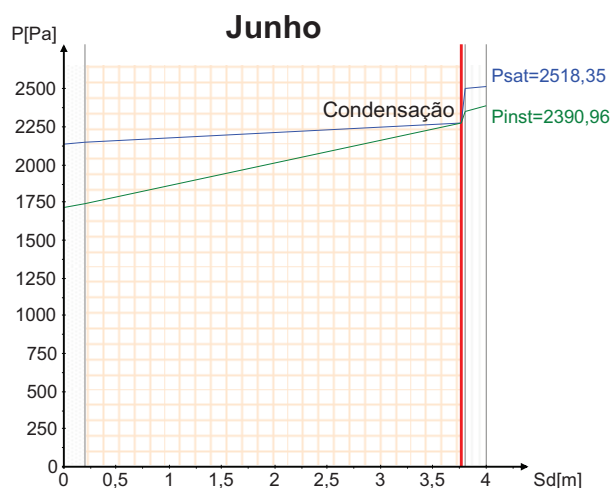
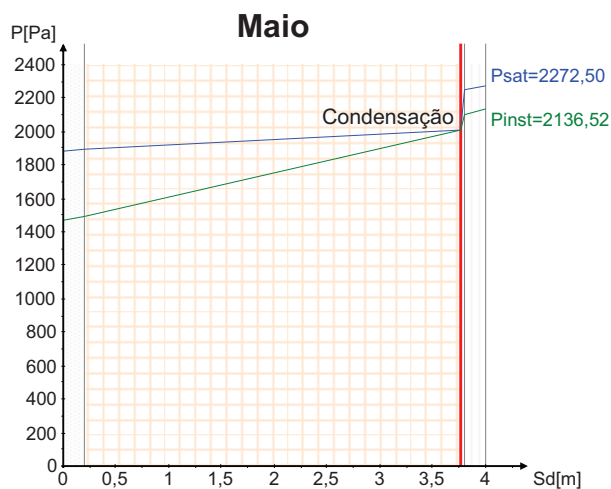
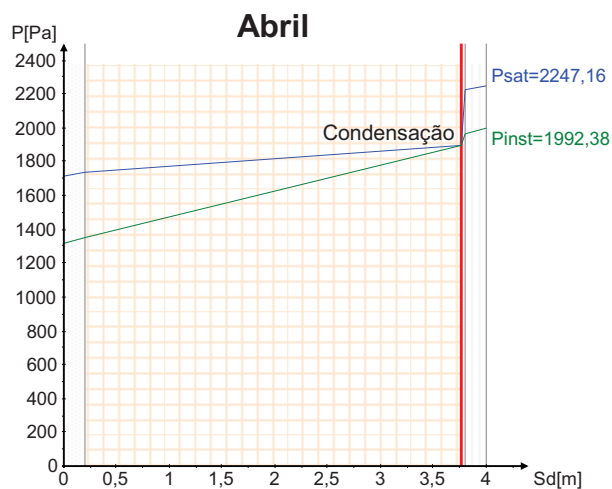
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Reboco	0,02	1	10	
Tijolo	0,22	0,4	16,2	
Lã Mineral	0,04	0,04	1	
Gesso Cartonado	0,02	0,25	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	Δv [g/m³]	P_i [Pa]	$gc1$ [kg/(m²s)]	$Ma1$ [kg/m²]
Outubro	744	19,0	79	1734,959	22,0	5	2413,291	3,89E-08	0,1042
Novembro	720	16,8	80	1529,792	20,0	5	2203,272	1,11E-07	0,3916
Dezembro	744	15,2	82	1415,711	20,0	5	2087,343	1,29E-07	0,7378
Janeiro	744	14,3	80	1303,281	20,0	5	1973,874	9,37E-08	0,9887
Fevereiro	672	13,9	79	1254,040	20,0	5	1924,171	7,78E-08	1,1769
Março	744	14,4	79	1295,345	20,0	5	1966,053	7,96E-08	1,3902
Abril	720	15,1	77	1320,866	20,0	5	1992,383	5,24E-08	1,5261
Maio	744	16,5	78	1463,383	20,0	5	2136,517	7,50E-08	1,7269
Junho	720	18,6	80	1713,556	21,6	5	2390,963	6,97E-08	1,9076
Julho	744	20,8	78	1915,065	23,8	5	2597,555	-3,96E-08	1,8015
Agosto	744	22,0	78	2061,079	25,0	5	2746,340	-8,24E-08	1,5809
Setembro	720	21,2	78	1962,698	24,2	5	2646,112	-5,36E-08	1,4421

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise, não se verificando a possibilidade da sua secagem por completo durante os meses de verão.
Deverão ser alteradas as características do elemento em estudo para que seja possível utilizá-lo sob as condições climáticas escolhidas.

ANEXO A2

RESULTADOS OBTIDOS DO PROGRAMA CONDENSE 13788 – PAREDE SIMPLES COM ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR – ETICS

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Vertical
Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Bragança

1.3 Condições Interiores

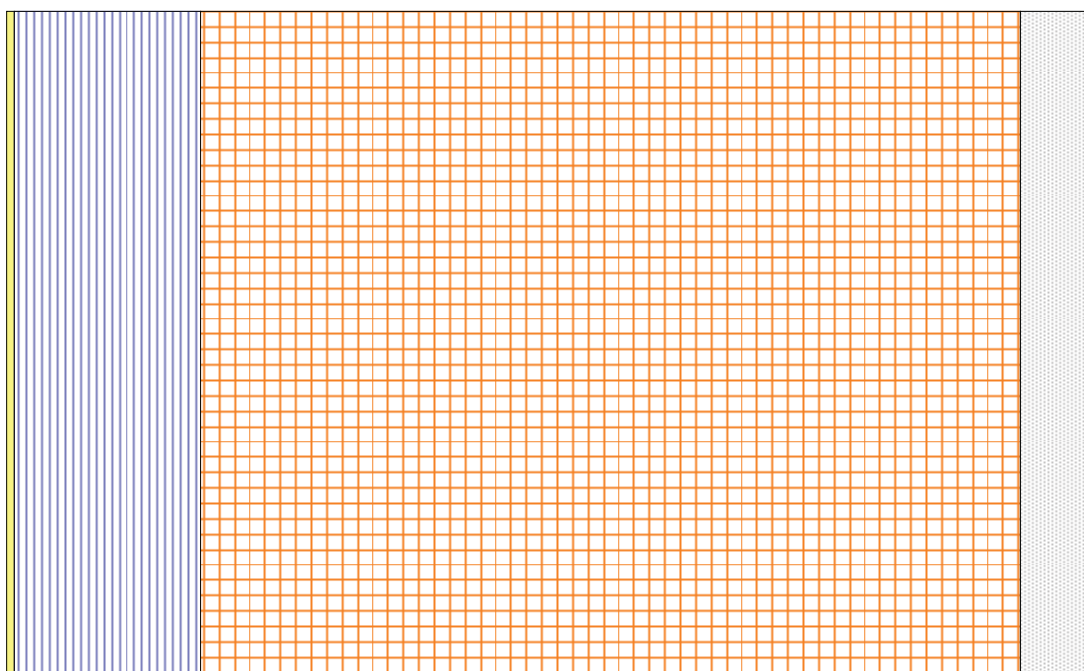
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

2. Camadas do Elemento Construtivo

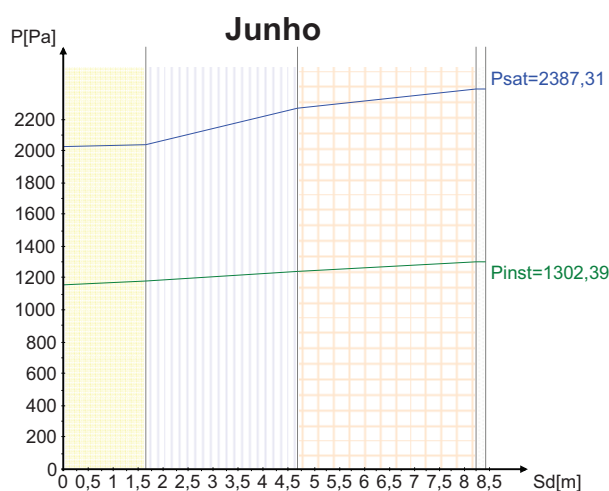
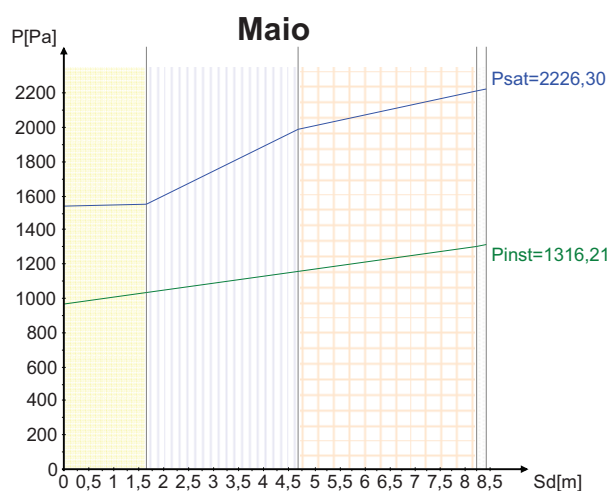
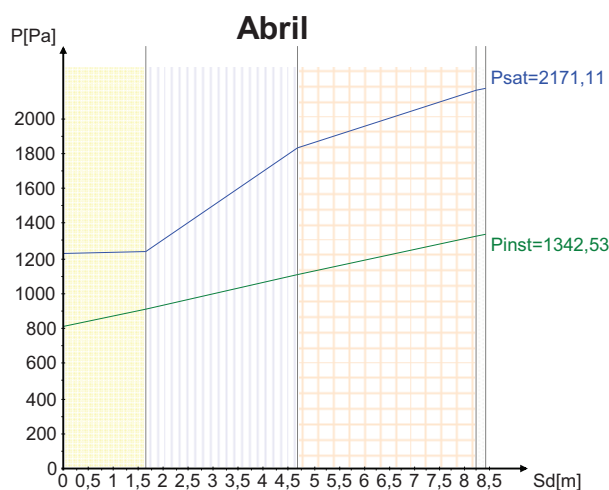
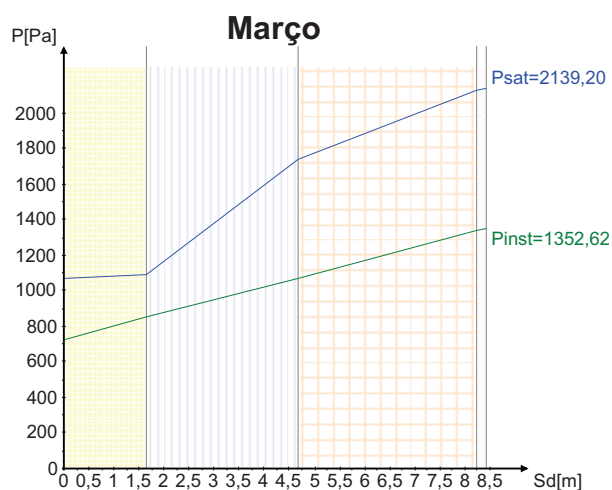
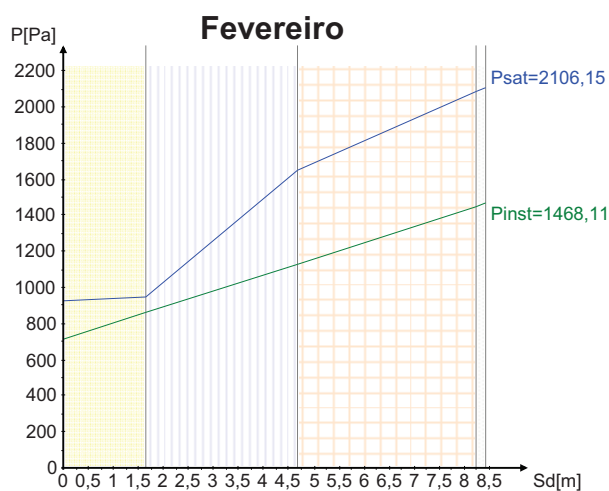
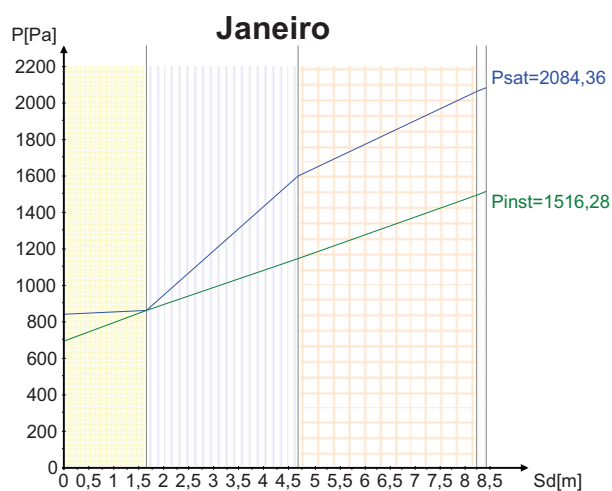
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Revestimento exterior	0,002	1	832	
Poliestrieno expandido	0,05	0,04	60	
Tijolo	0,22	0,4	16,2	
Reboco	0,02	1	10	

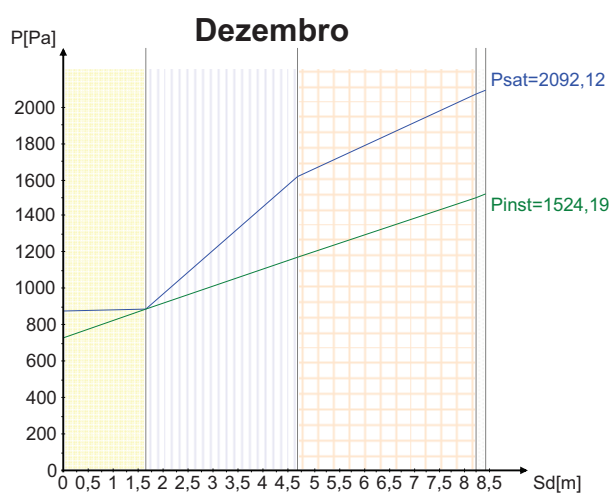
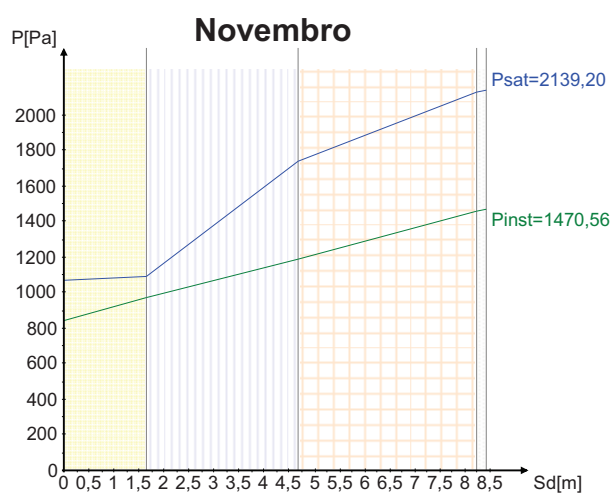
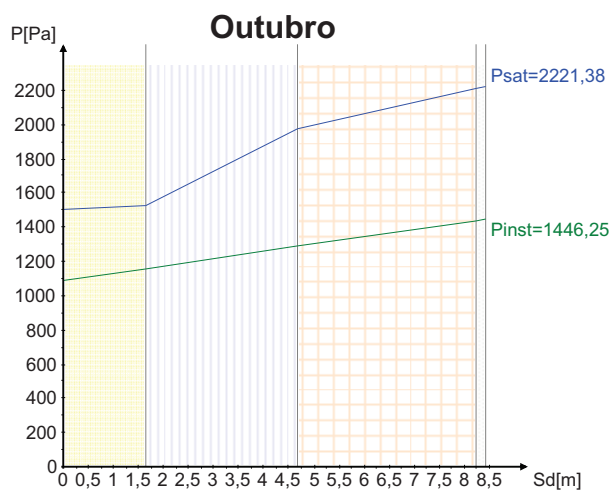
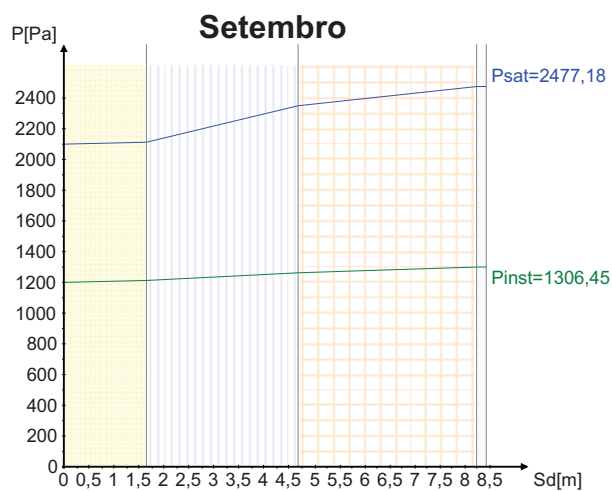
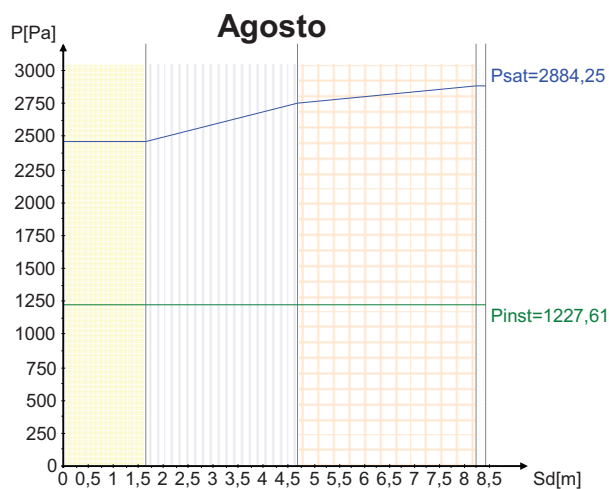
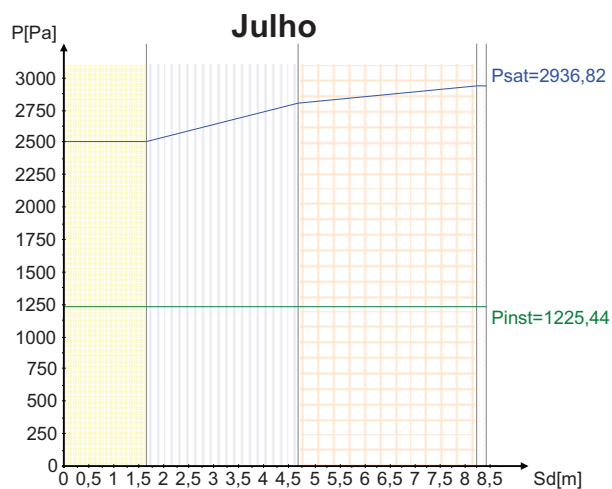


3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]
Janeiro	744	4,5	83	698,777	20,0	6,2	1516,277
Fevereiro	672	5,9	77	714,696	20,0	5,7	1468,112
Março	744	8,0	68	729,101	20,0	4,7	1352,618
Abril	720	10,0	66	810,025	20,0	4	1342,526
Maiο	744	13,4	63	968,043	20,0	2,6	1316,211
Junho	720	17,7	57	1153,817	20,7	1,1	1302,390
Julho	744	21,1	49	1225,436	24,1	0	1225,436
Agosto	744	20,8	50	1227,606	23,8	0	1227,606
Setembro	720	18,3	57	1198,175	21,3	0,8	1306,449
Outubro	744	13,1	72	1084,880	20,0	2,7	1446,251
Novembro	720	8,0	79	847,043	20,0	4,7	1470,561
Dezembro	744	5,0	84	732,366	20,0	6	1524,188

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise!

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Vertical
Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Porto

1.3 Condições Interiores

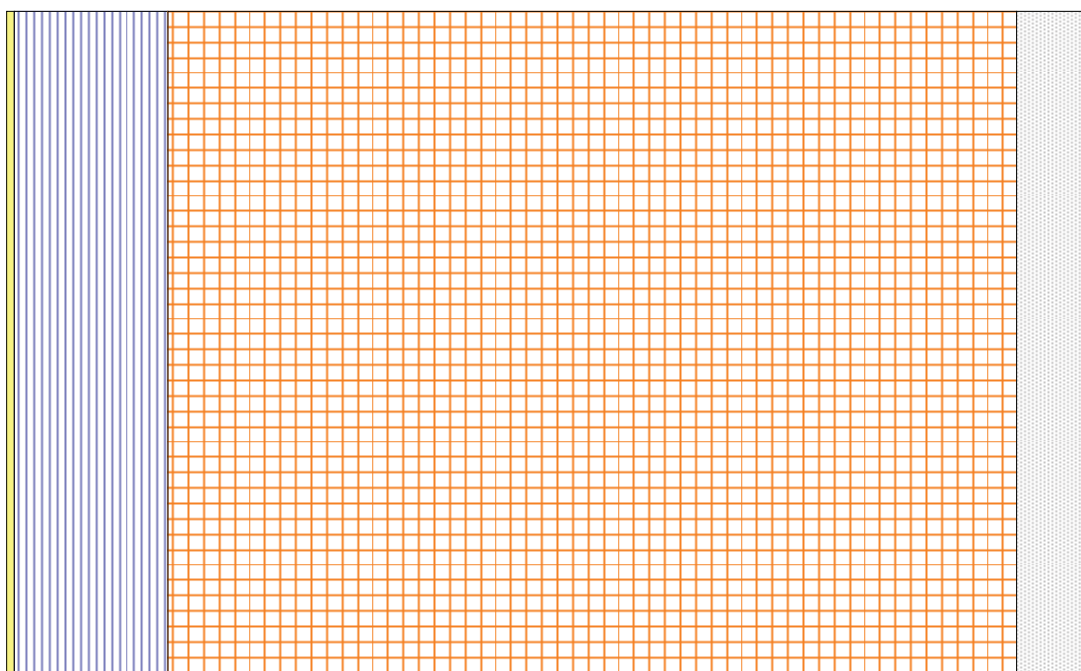
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

2. Camadas do Elemento Construtivo

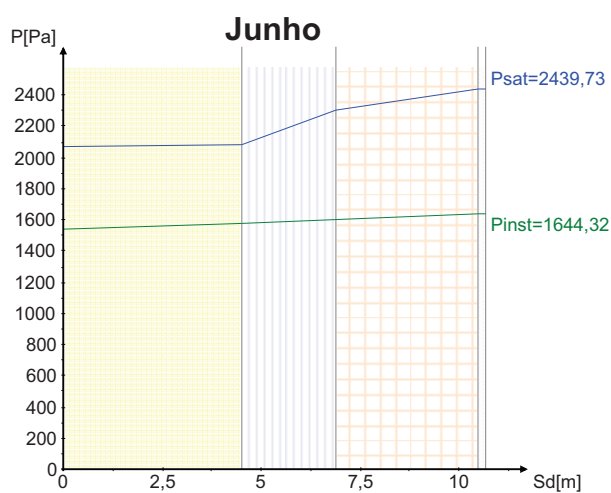
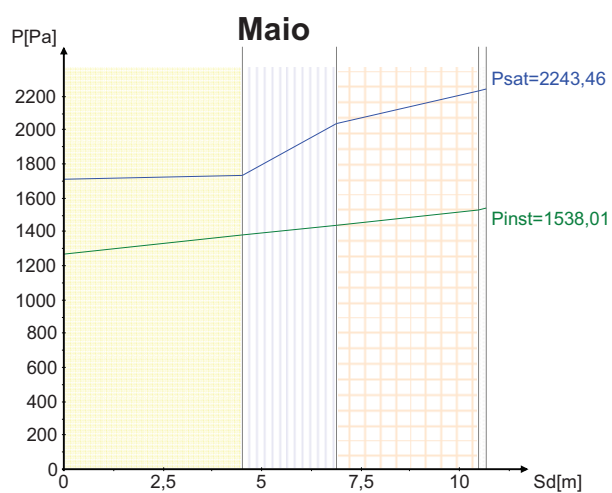
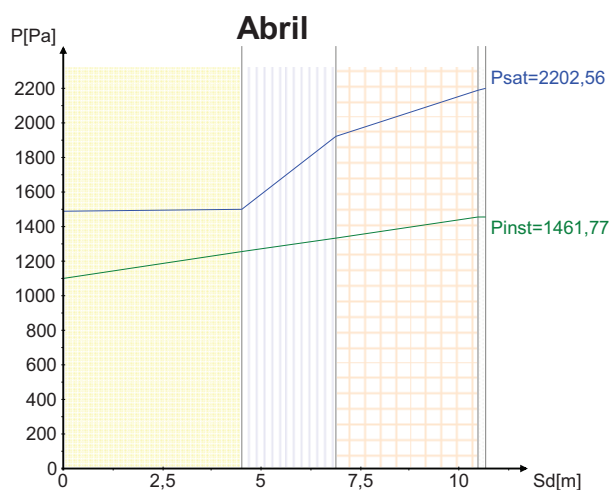
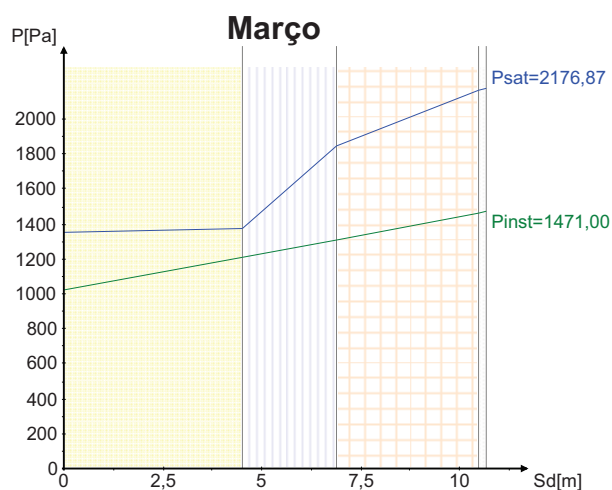
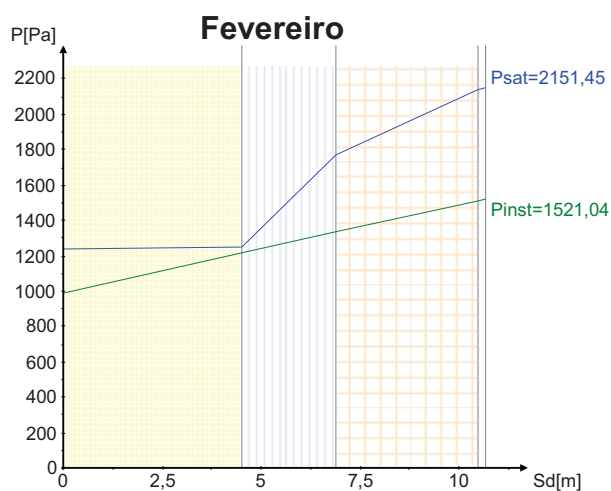
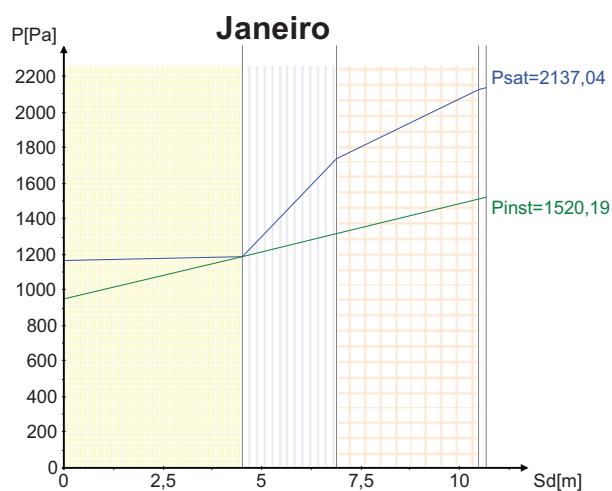
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Revestimento exterior	0,002	1	2256	
Poliestireno expandido	0,04	0,04	60	
Tijolo	0,22	0,4	16,2	
Reboco	0,02	1	10	

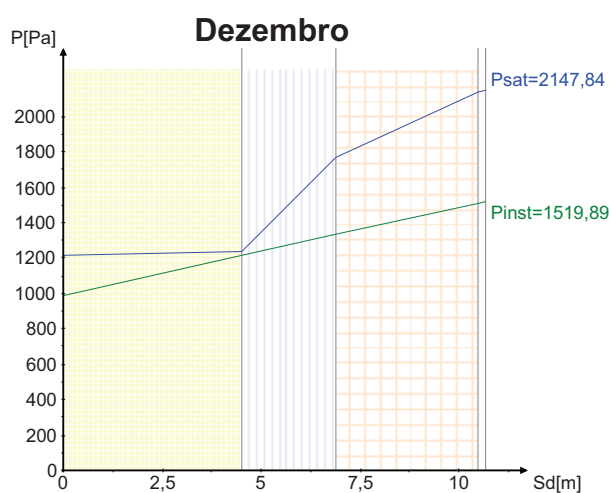
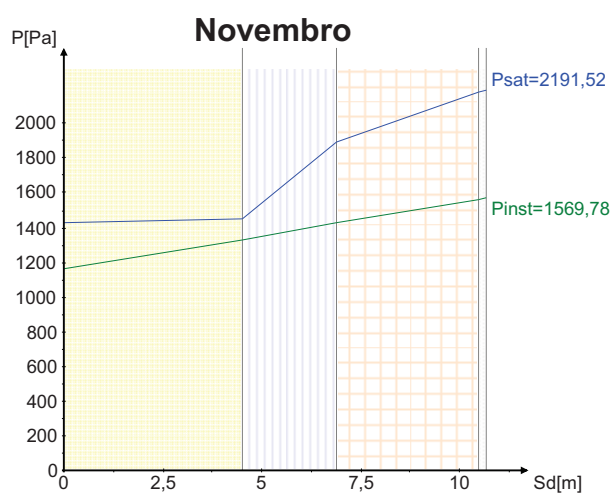
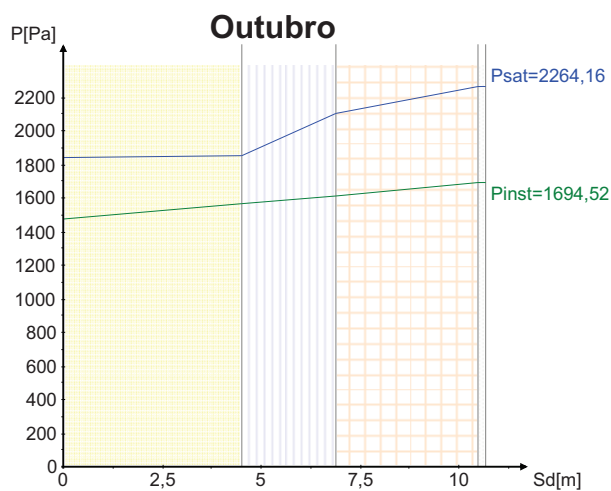
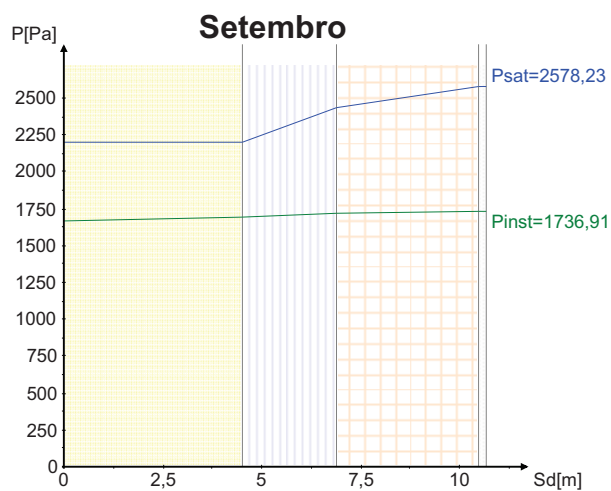
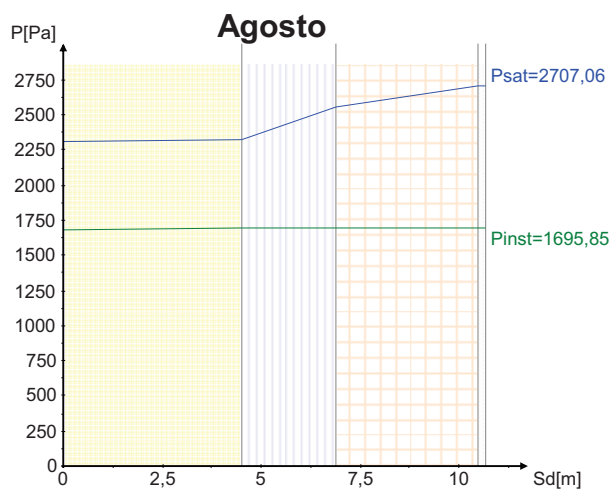
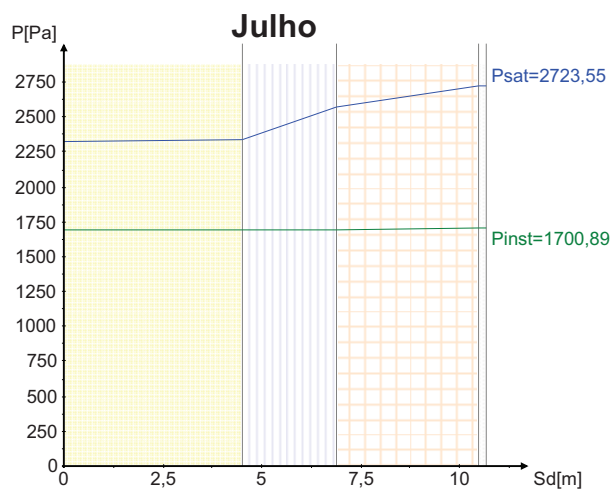


3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	Δv [g/m³]	P_i [Pa]
Janeiro	744	9,3	81	948,443	20,0	4,3	1520,186
Fevereiro	672	10,1	80	988,446	20,0	4	1521,040
Março	744	11,5	75	1017,192	20,0	3,4	1470,997
Abril	720	12,9	74	1100,524	20,0	2,7	1461,771
Maiο	744	15,1	74	1269,404	20,0	2	1538,011
Junho	720	18,1	74	1536,118	21,1	0,8	1644,319
Julho	744	19,9	73	1695,443	22,9	0,04	1700,886
Agosto	744	19,8	73	1684,969	22,8	0,08	1695,851
Setembro	720	19,0	76	1669,075	22,0	0,5	1736,908
Outubro	744	16,2	80	1472,498	20,0	1,65	1694,518
Novembro	720	12,3	81	1158,120	20,0	3,08	1569,783
Dezembro	744	9,9	81	987,479	20,0	4	1519,888

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise!

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Vertical
Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Portalegre

1.3 Condições Interiores

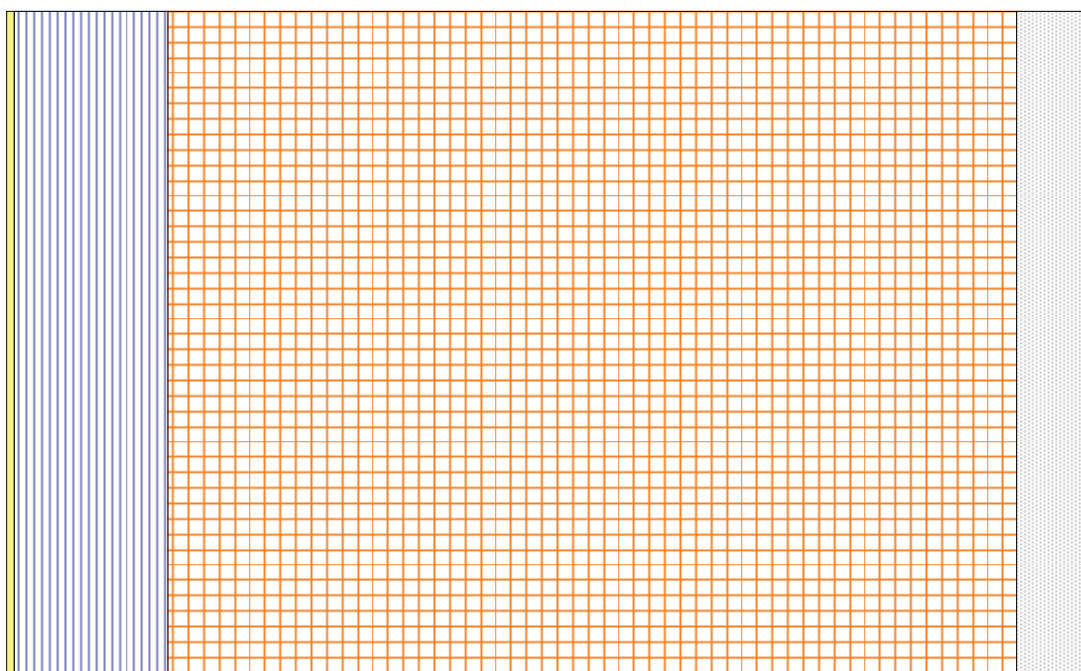
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

2. Camadas do Elemento Construtivo

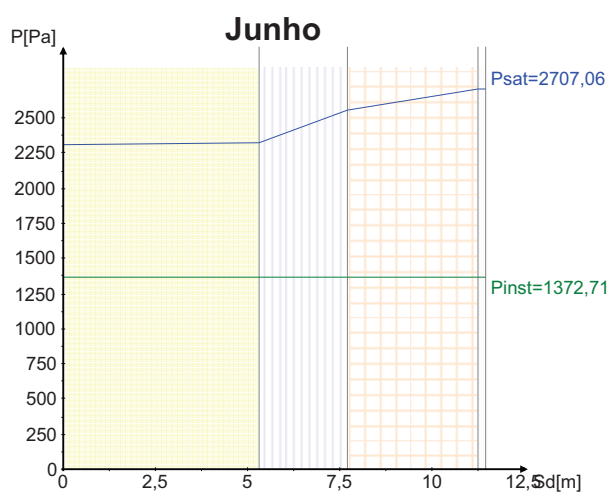
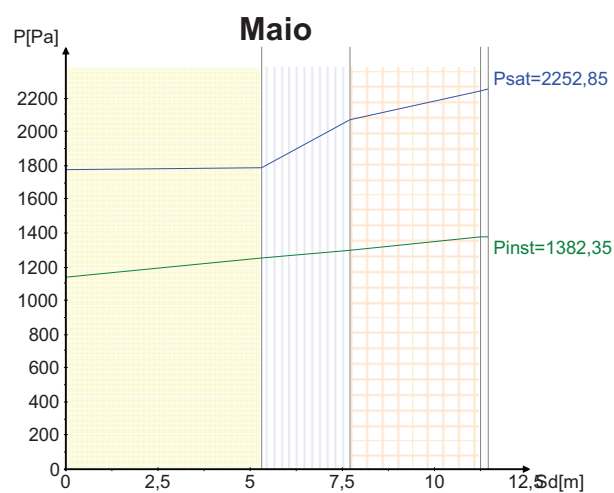
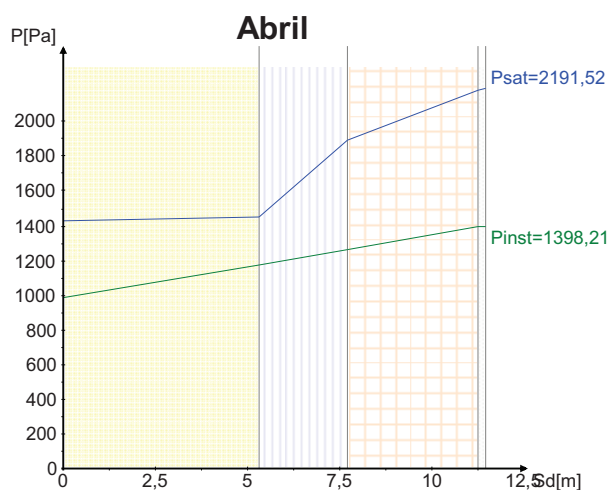
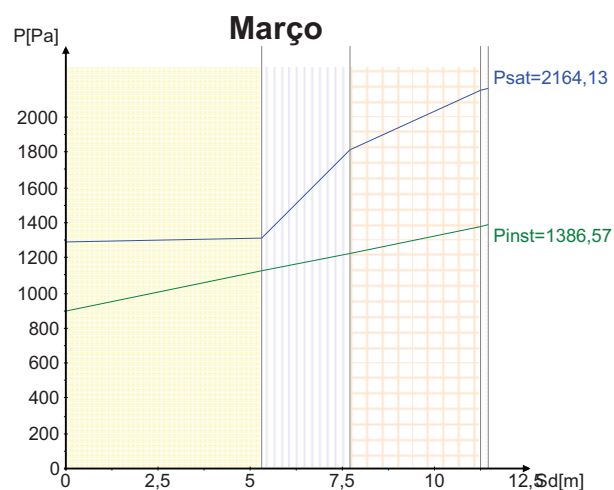
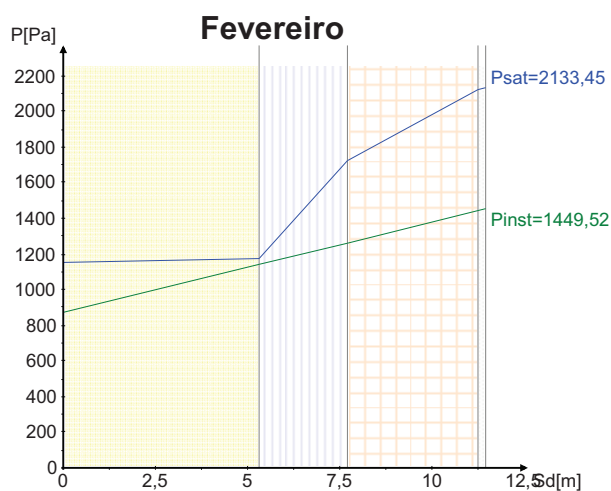
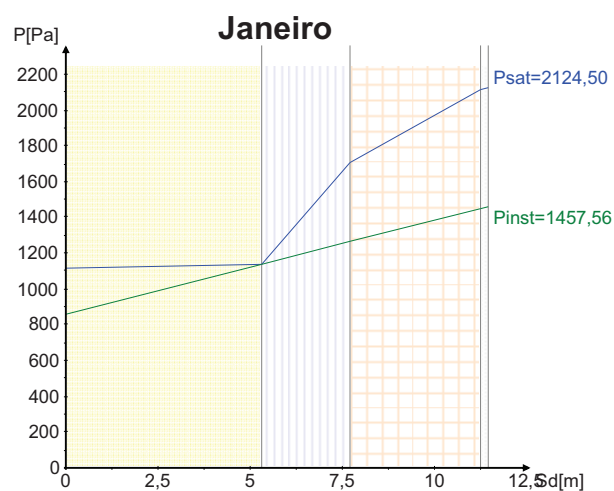
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Revestimento exterior	0,002	1	2653	
Poliestireno expandido	0,04	0,04	60	
Tijolo	0,22	0,4	16,2	
Reboco	0,02	1	10	

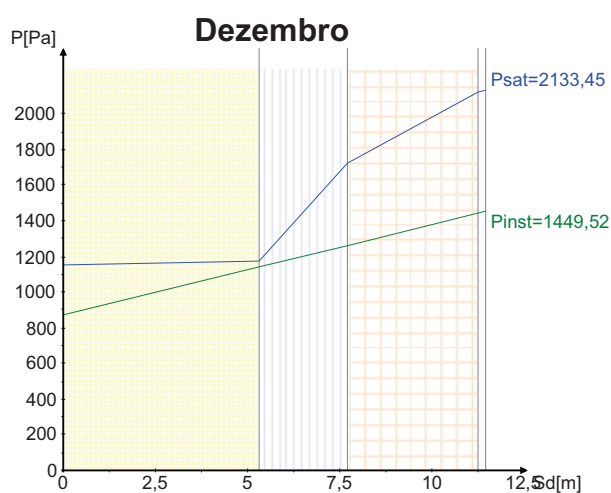
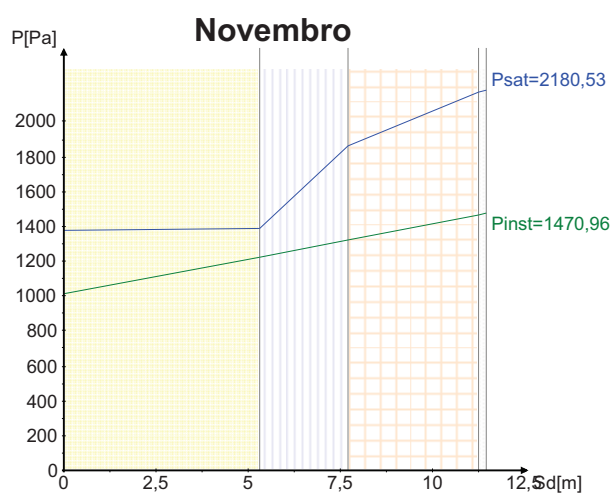
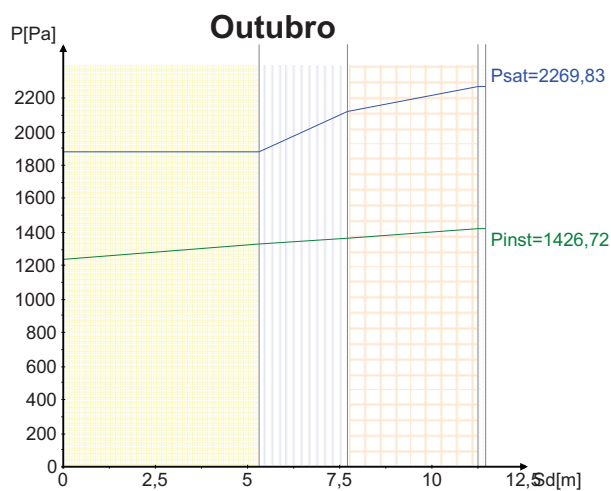
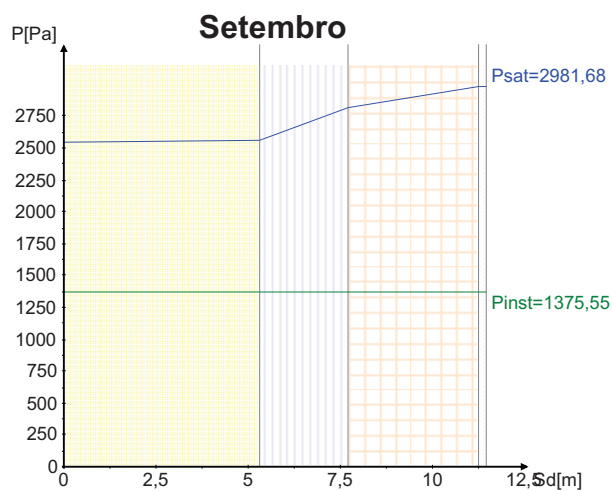
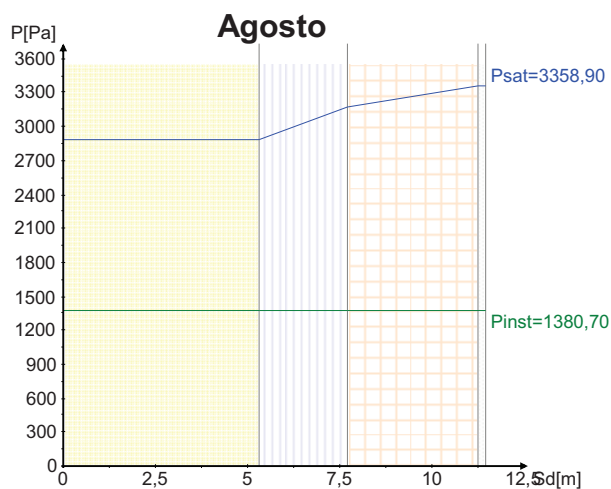
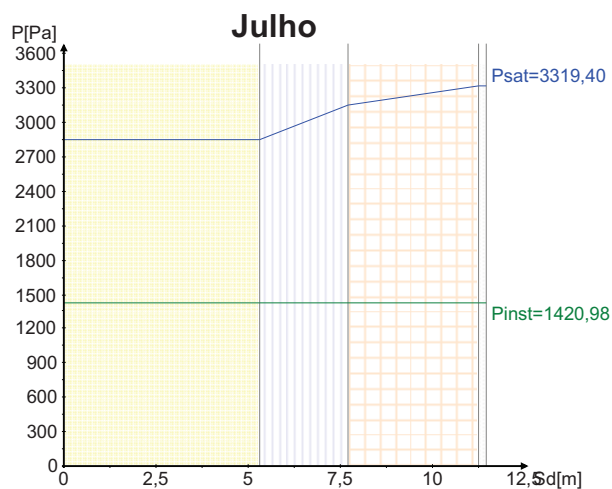


3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	Δv [g/m³]	P_i [Pa]
Janeiro	744	8,6	77	859,948	20,0	4,5	1457,557
Fevereiro	672	9,1	76	877,974	20,0	4,3	1449,519
Março	744	10,8	69	893,323	20,0	3,7	1386,571
Abril	720	12,3	69	986,547	20,0	3,08	1398,209
Maiο	744	15,6	64	1133,675	20,0	1,85	1382,350
Junho	720	19,8	59	1361,824	22,8	0,08	1372,707
Julho	744	23,2	50	1420,977	26,2	0	1420,977
Agosto	744	23,4	48	1380,700	26,4	0	1380,700
Setembro	720	21,4	54	1375,546	24,4	0	1375,546
Outubro	744	16,5	66	1238,247	20,0	1,4	1426,725
Novembro	720	11,7	74	1016,996	20,0	3,4	1470,957
Dezembro	744	9,1	76	877,974	20,0	4,3	1449,519

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise!

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Vertical
Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Coimbra

1.3 Condições Interiores

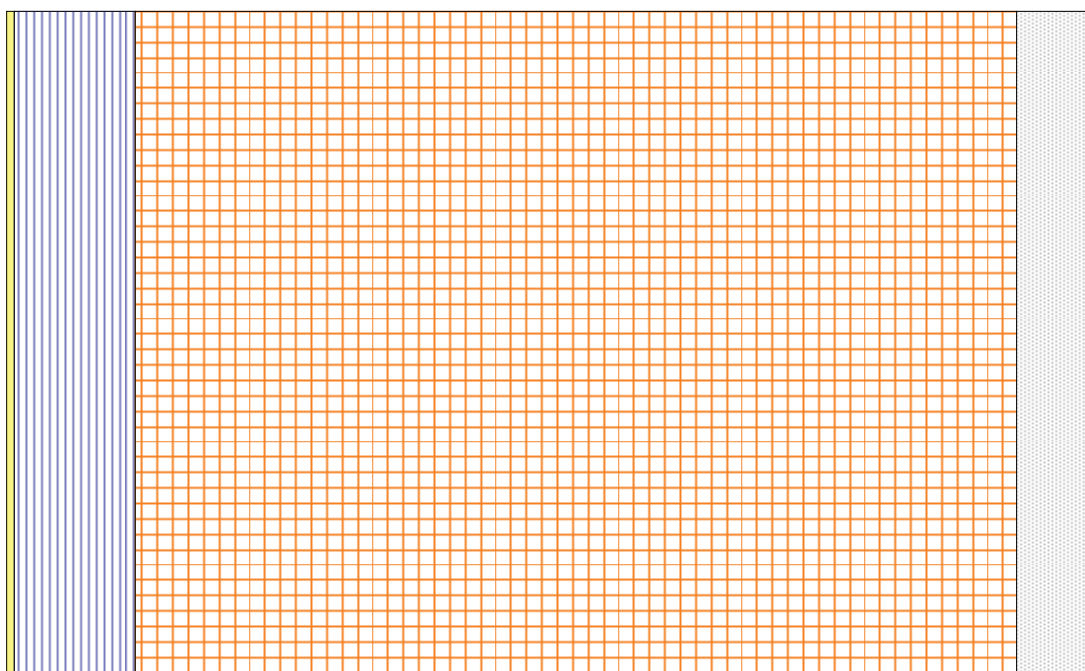
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

2. Camadas do Elemento Construtivo

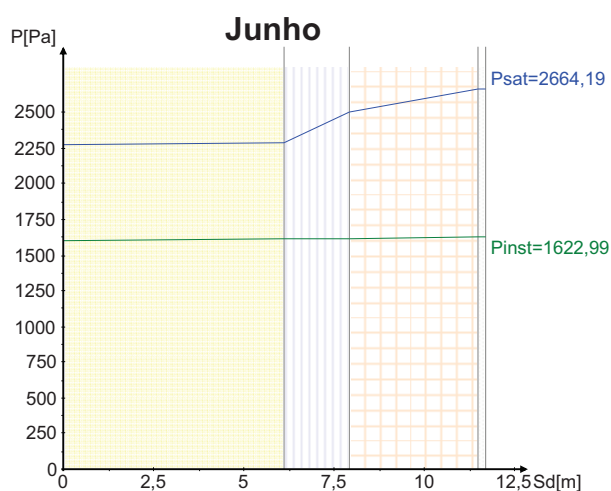
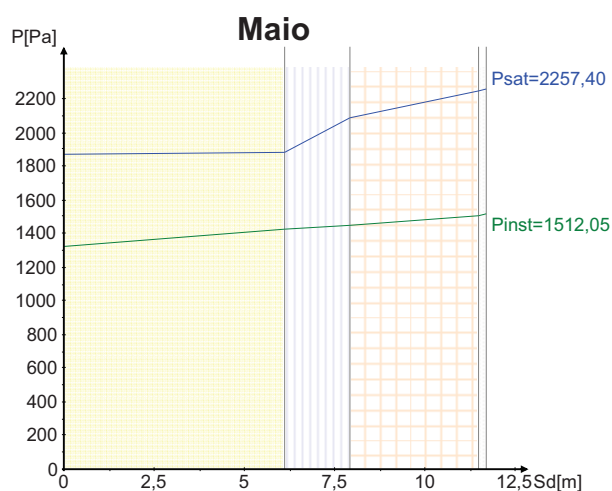
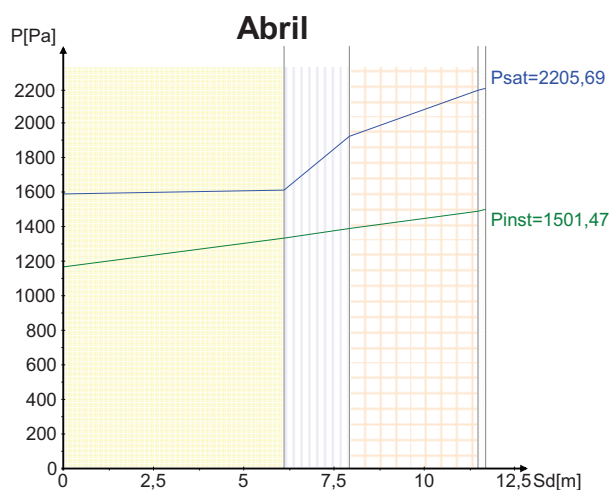
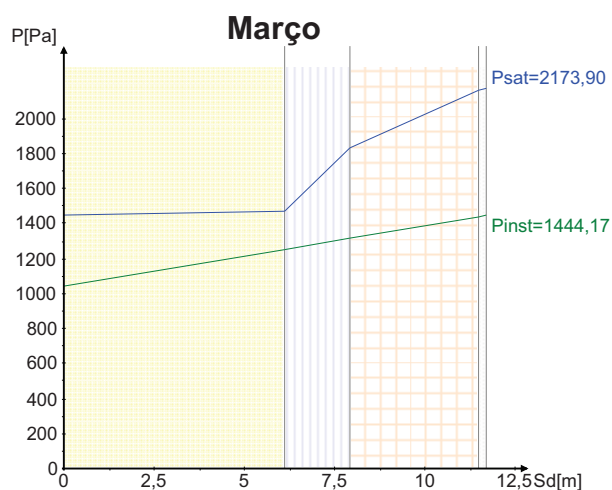
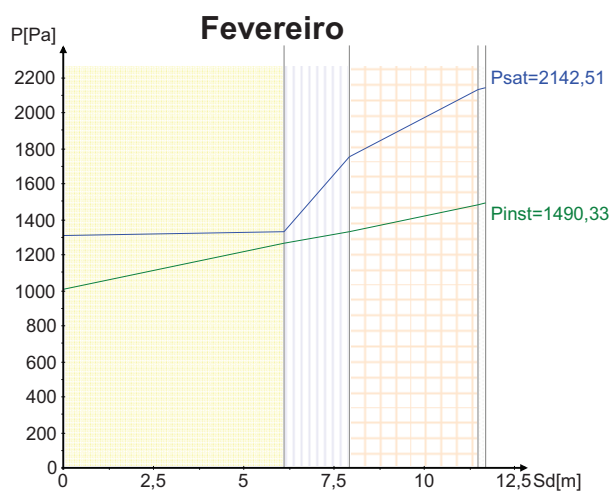
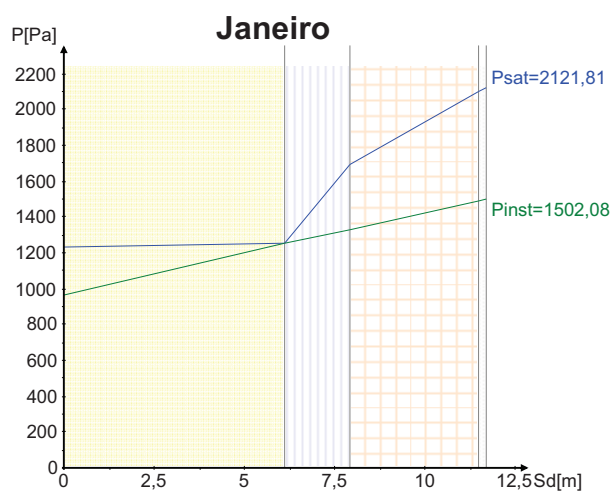
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Revestimento exterior	0,002	1	3069	
Poliestireno expandido	0,03	0,04	60	
Tijolo	0,22	0,4	16,2	
Reboco	0,02	1	10	

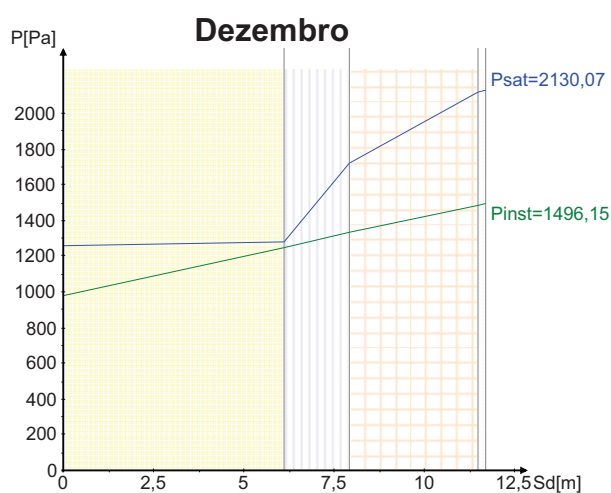
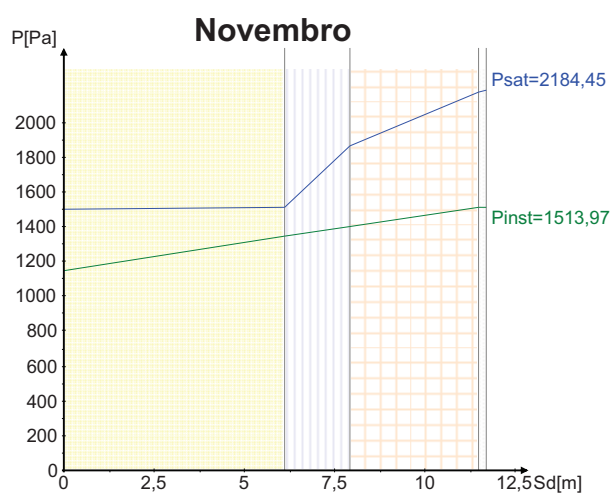
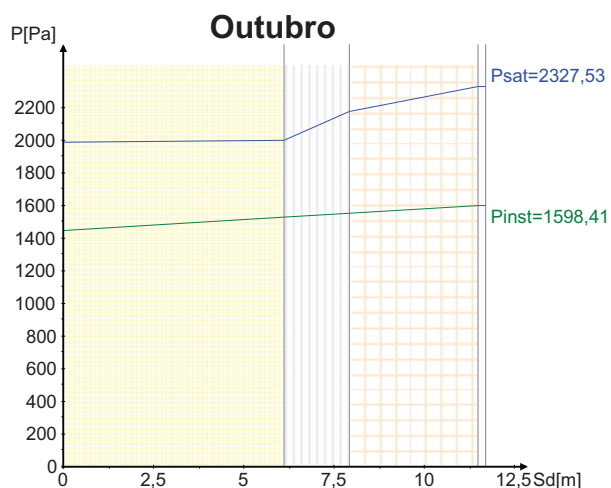
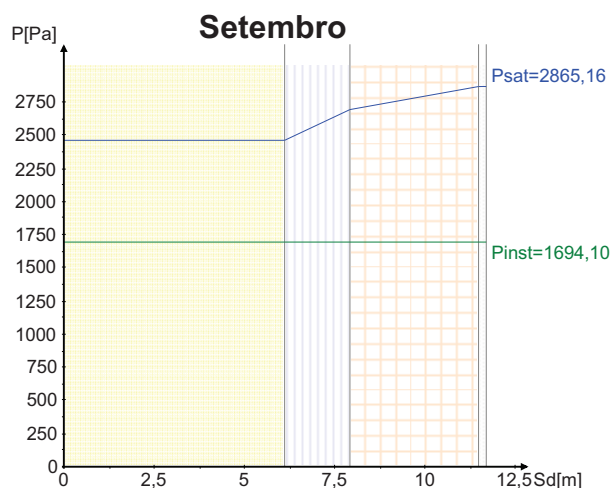
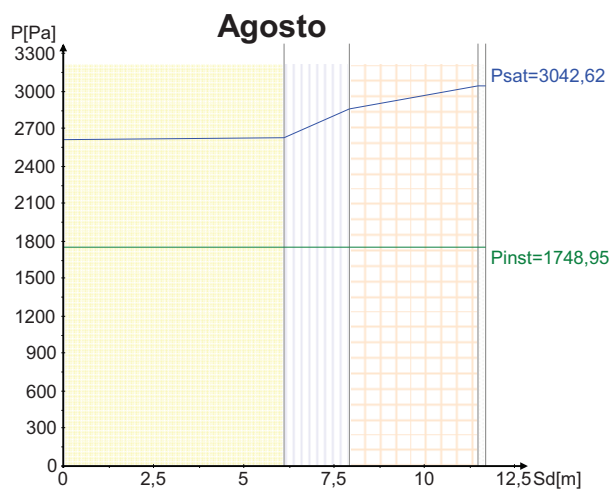
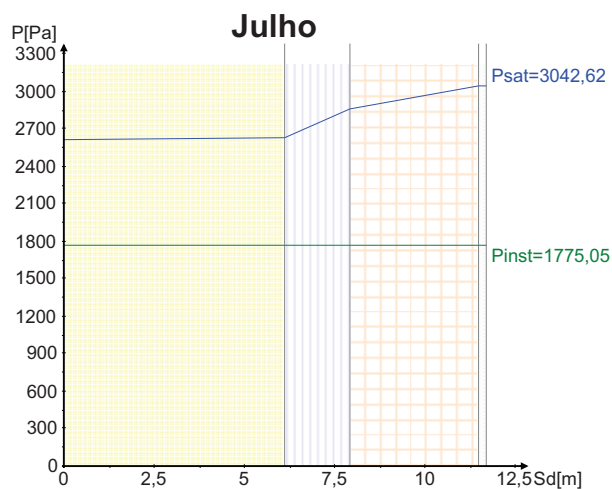


3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]
Janeiro	744	10,0	79	969,575	20,0	4	1502,076
Fevereiro	672	11,0	77	1010,249	20,0	3,6	1490,331
Março	744	12,5	72	1043,062	20,0	3	1444,170
Abril	720	14,0	73	1166,343	20,0	2,5	1501,467
Maiο	744	16,4	71	1323,603	20,0	1,4	1512,048
Junho	720	19,6	70	1595,798	22,6	0,2	1622,987
Julho	744	21,8	68	1775,051	24,8	0	1775,051
Agosto	744	21,8	67	1748,948	24,8	0	1748,948
Setembro	720	20,8	69	1694,096	23,8	0	1694,096
Outubro	744	17,4	73	1449,988	20,4	1,1	1598,408
Novembro	720	13,0	77	1152,657	20,0	2,7	1513,967
Dezembro	744	10,4	78	983,264	20,0	3,85	1496,152

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise!

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Vertical
Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Lisboa

1.3 Condições Interiores

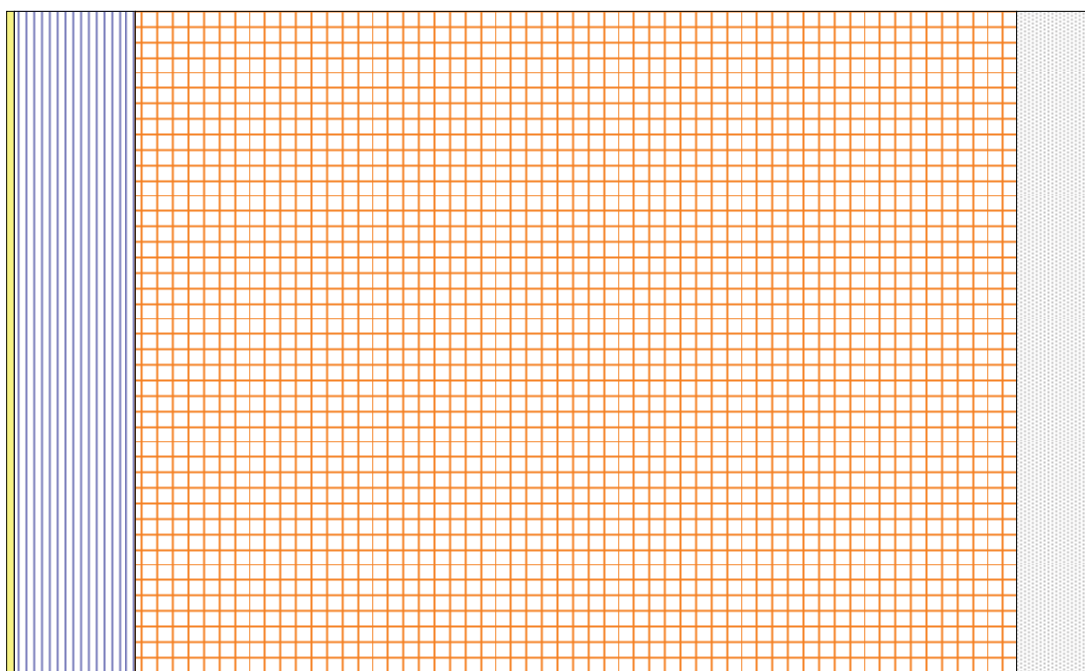
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

2. Camadas do Elemento Construtivo

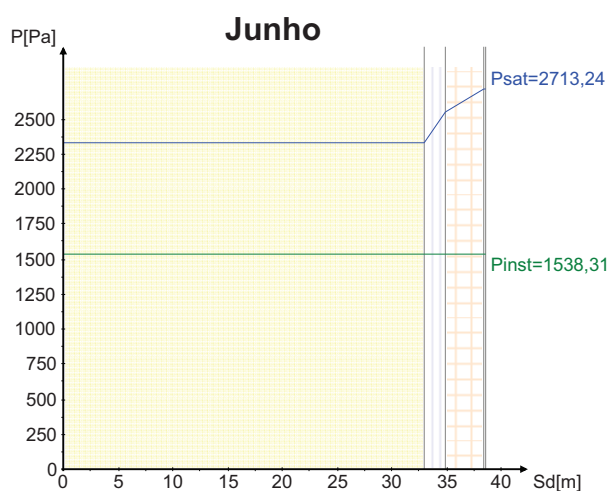
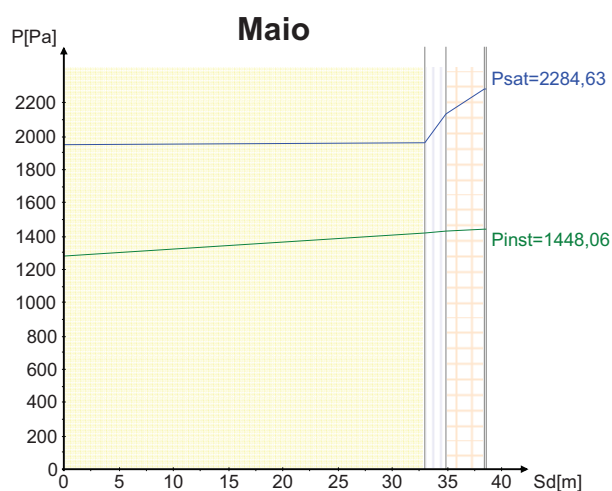
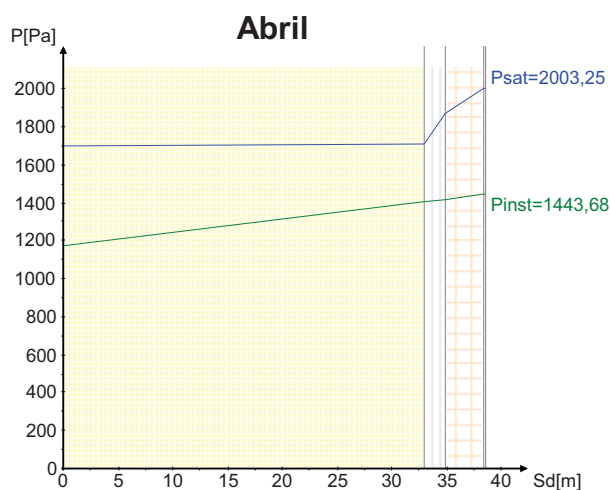
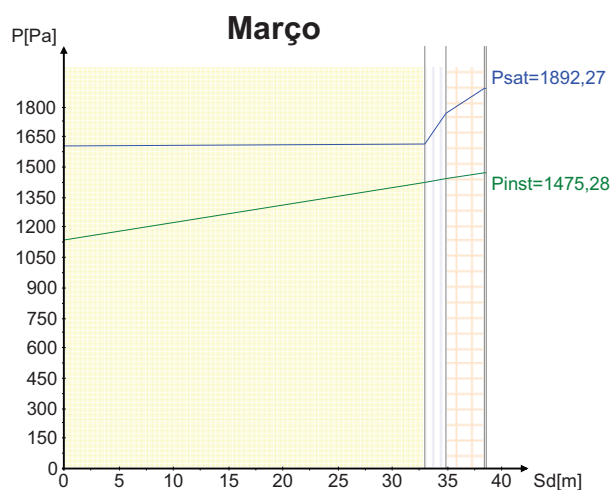
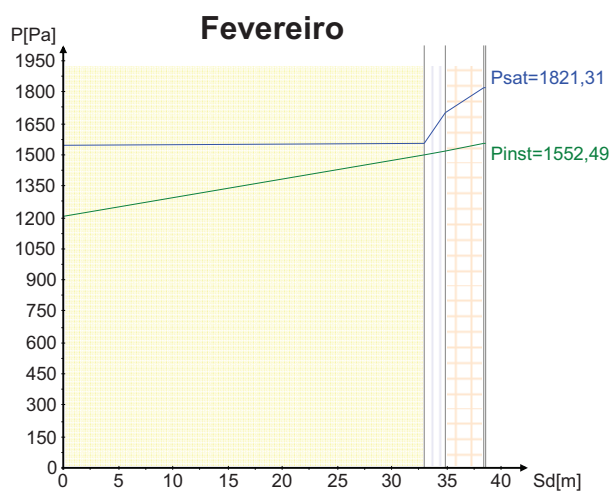
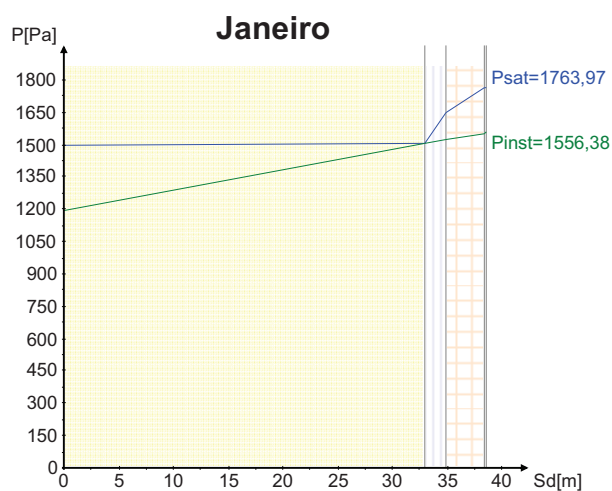
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Revestimento exterior	0,002	1	16506	
Poliestireno expandido	0,03	0,04	60	
Tijolo	0,22	0,4	16,2	
Reboco	0,02	1	10	

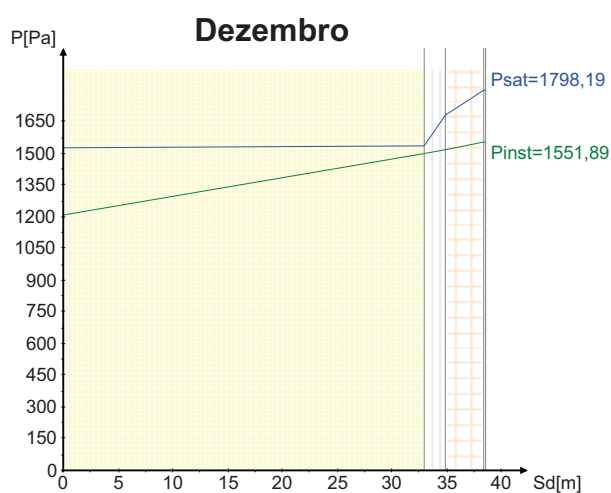
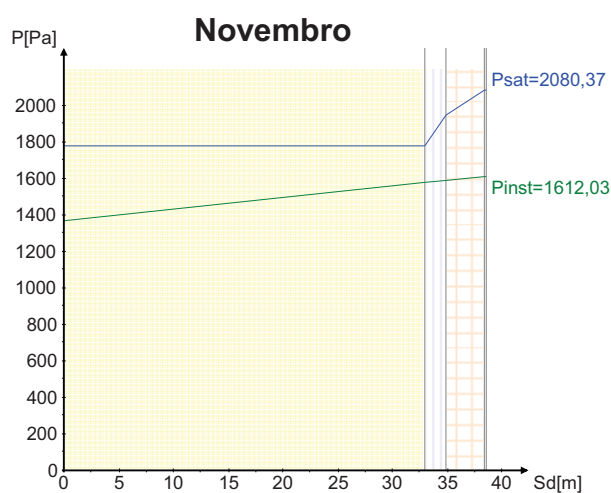
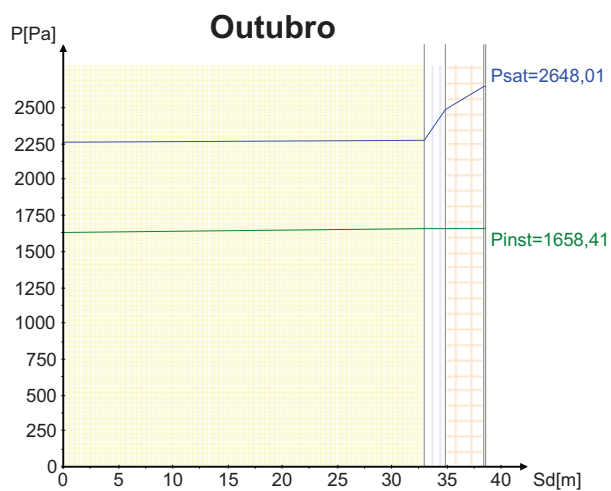
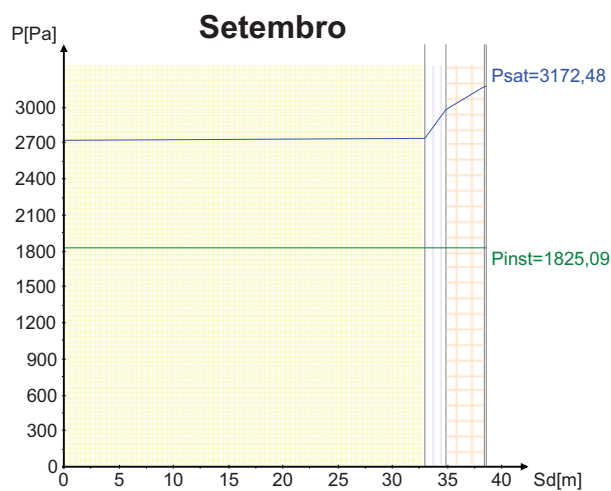
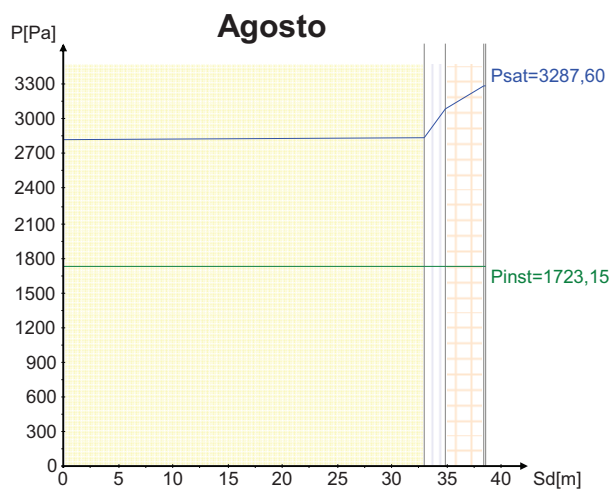
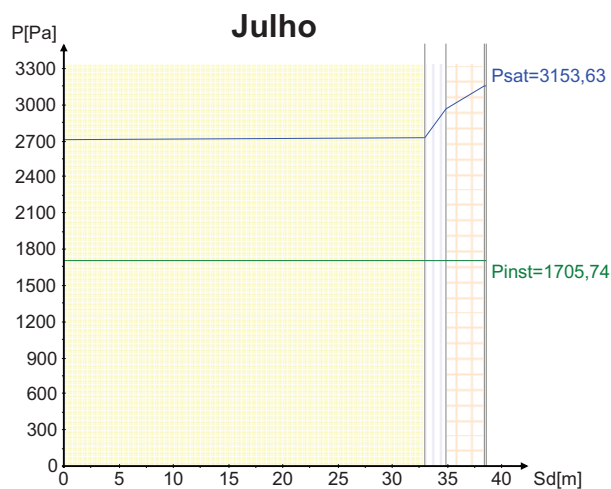


3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]
Janeiro	744	13,0	80	1197,566	16,0	2,7	1556,381
Fevereiro	672	13,5	78	1206,367	16,5	2,6	1552,492
Março	744	14,1	71	1141,771	17,1	2,5	1475,277
Abril	720	15,0	69	1176,041	18,0	2	1443,678
Maiο	744	17,1	66	1286,310	20,1	1,2	1448,056
Junho	720	19,9	66	1532,866	22,9	0,04	1538,310
Julho	744	22,4	63	1705,737	25,4	0	1705,737
Agosto	744	23,1	61	1723,150	26,1	0	1723,150
Setembro	720	22,5	67	1825,089	25,5	0	1825,089
Outubro	744	19,5	72	1631,228	22,5	0,2	1658,408
Novembro	720	15,6	77	1363,953	18,6	1,85	1612,030
Dezembro	744	13,3	79	1206,003	16,3	2,6	1551,889

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise!

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Vertical
Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Ponta Delgada

1.3 Condições Interiores

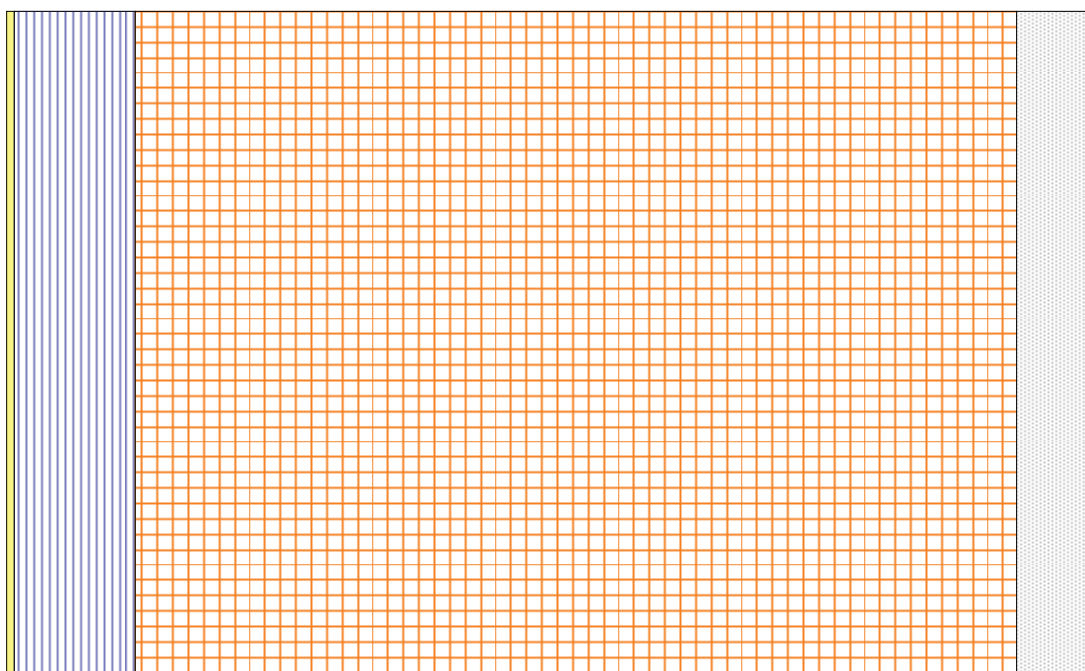
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

2. Camadas do Elemento Construtivo

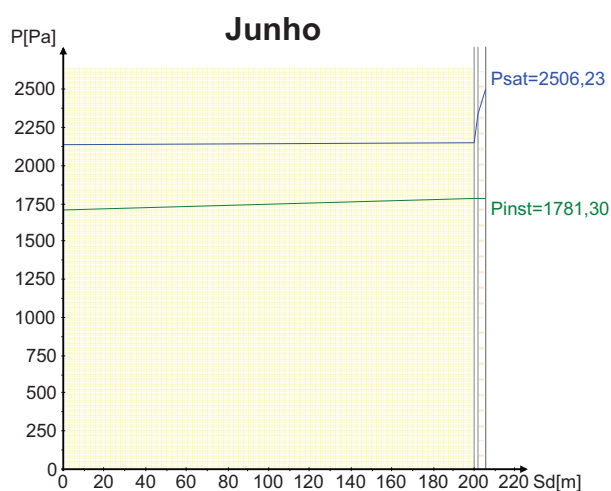
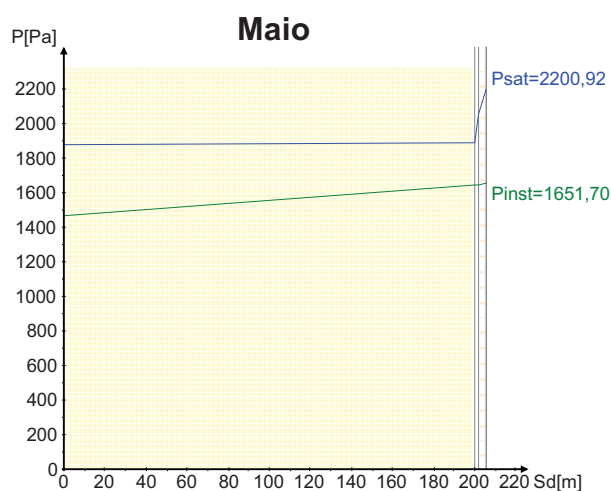
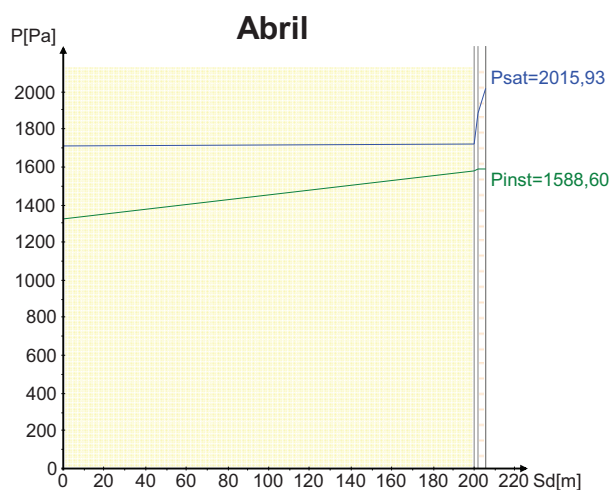
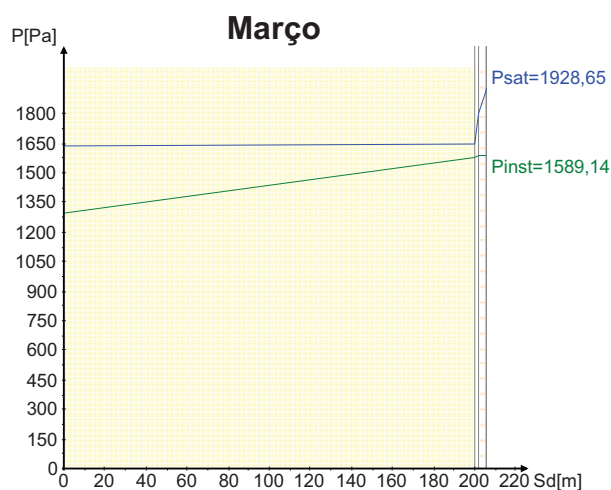
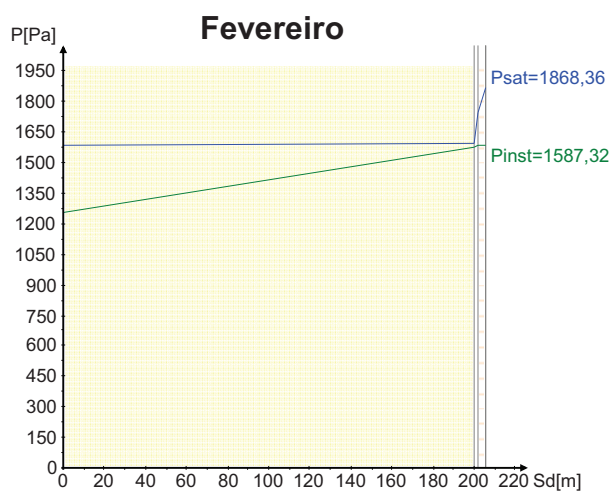
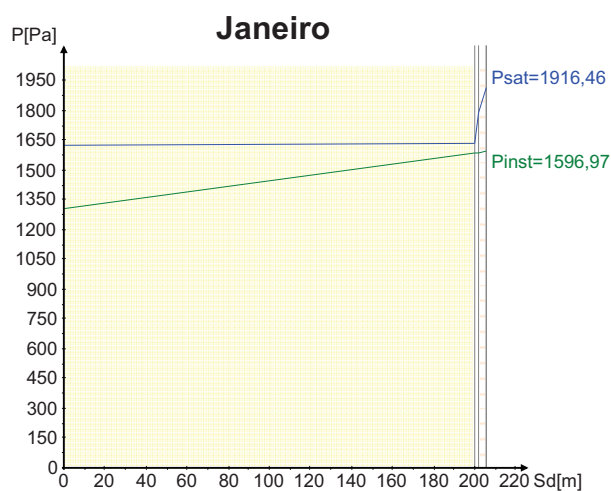
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Revestimento exterior	0,002	1	100000	
Poliestieno expandido	0,03	0,04	60	
Tijolo	0,22	0,4	16,2	
Reboco	0,02	1	10	

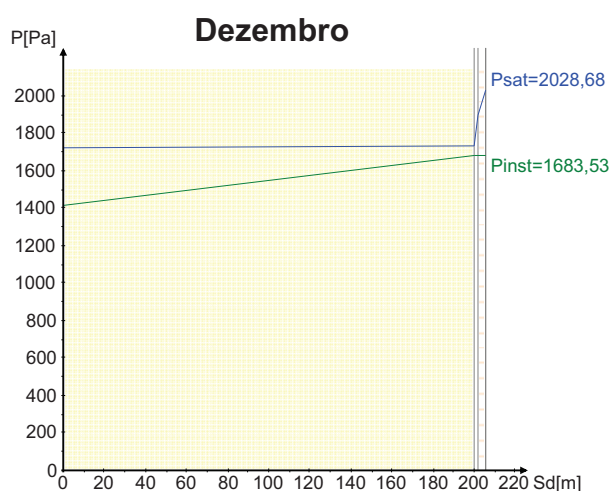
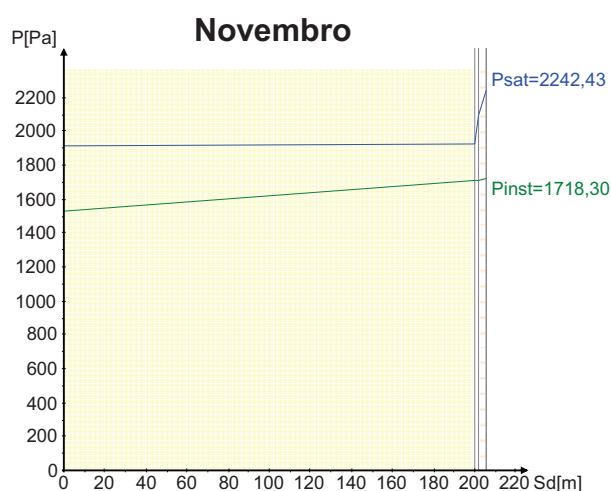
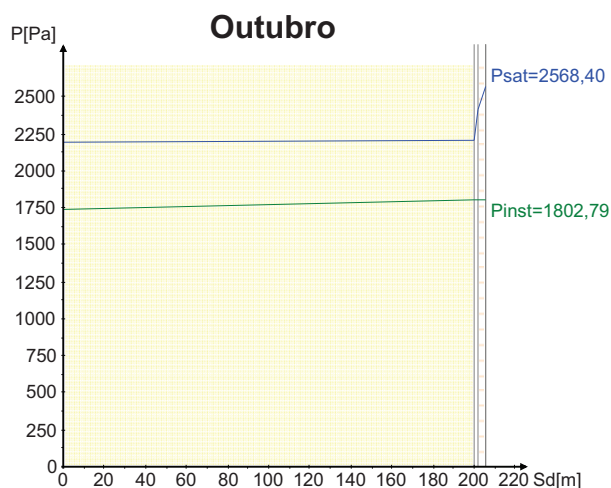
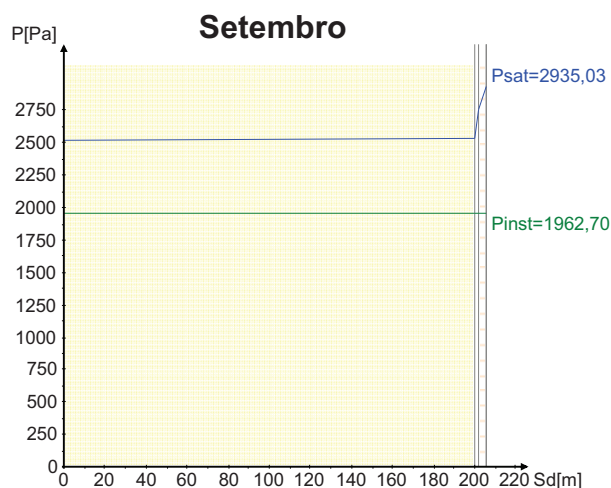
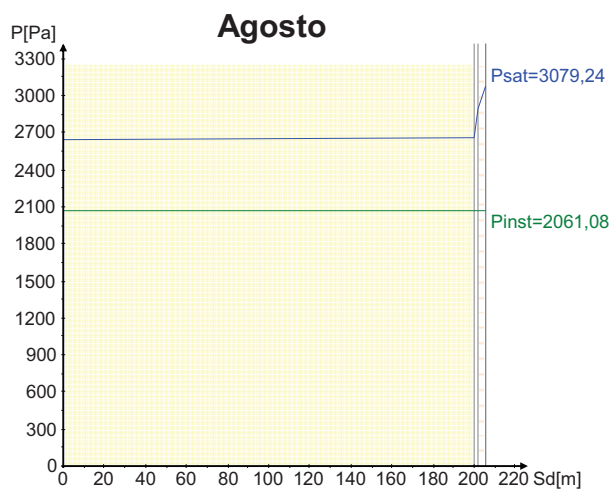
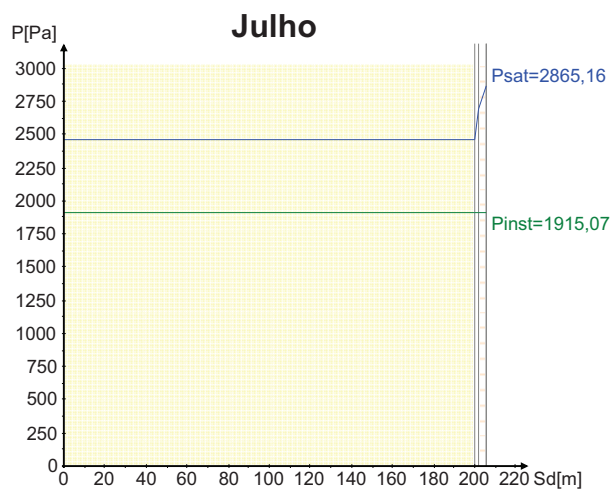


3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]
Janeiro	744	14,3	80	1303,281	17,3	2,2	1596,969
Fevereiro	672	13,9	79	1254,040	16,9	2,5	1587,315
Março	744	14,4	79	1295,345	17,4	2,2	1589,135
Abril	720	15,1	77	1320,866	18,1	2	1588,595
Maiο	744	16,5	78	1463,383	19,5	1,4	1651,699
Junho	720	18,6	80	1713,556	21,6	0,5	1781,296
Julho	744	20,8	78	1915,065	23,8	0	1915,065
Agosto	744	22,0	78	2061,079	25,0	0	2061,079
Setembro	720	21,2	78	1962,698	24,2	0	1962,698
Outubro	744	19,0	79	1734,959	22,0	0,5	1802,793
Novembro	720	16,8	80	1529,792	19,8	1,4	1718,301
Dezembro	744	15,2	82	1415,711	18,2	2	1683,532

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise!

ANEXO A3

RESULTADOS OBTIDOS DO PROGRAMA CONDENSE 13788 – PAREDE DUPLA COM ISOLAMENTO TÉRMICO PREENCHENDO TOTALMENTE A CAIXA-DE-AIR

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Vertical
Nº de camadas: 5

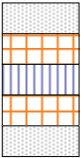
1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Bragança

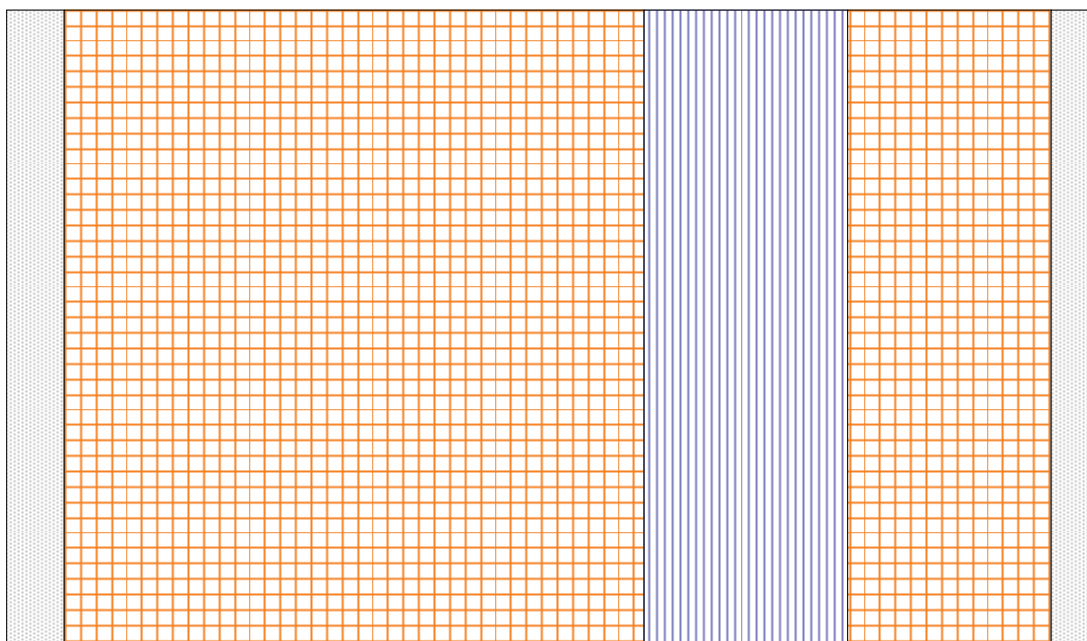
1.3 Condições Interiores

Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

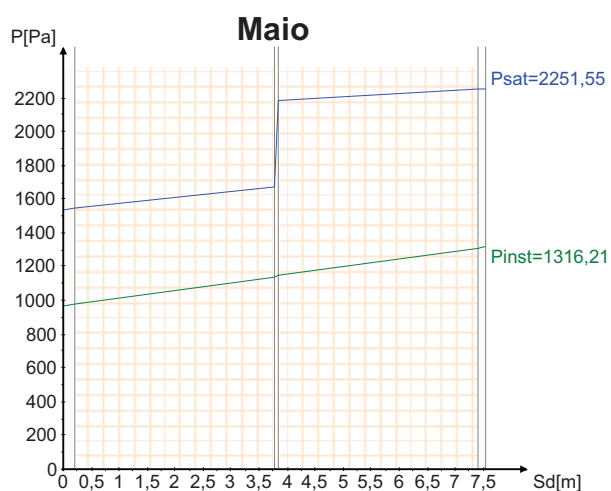
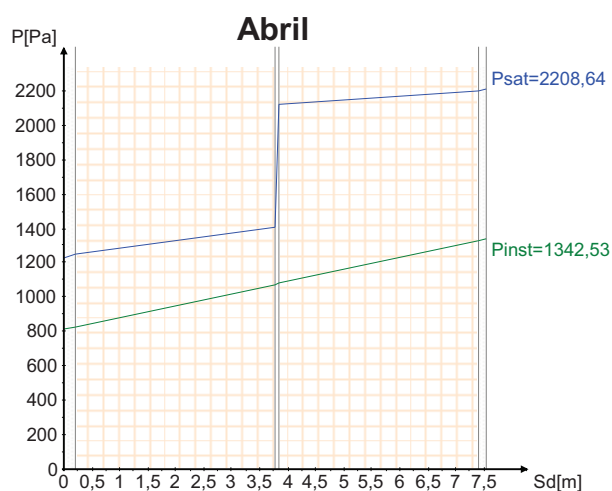
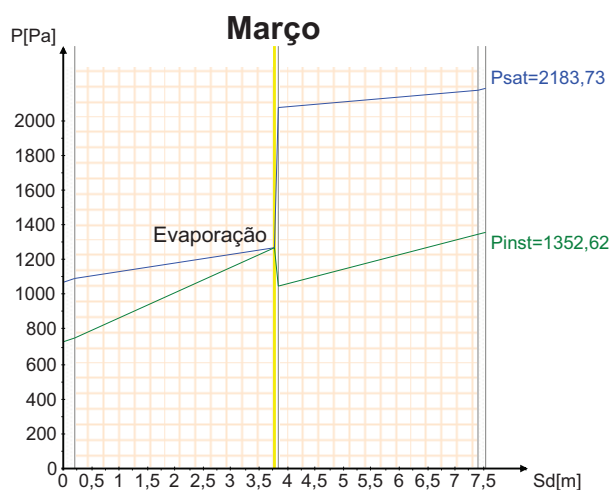
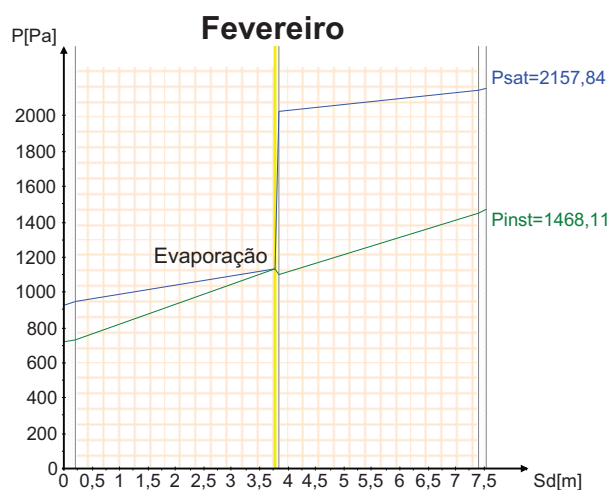
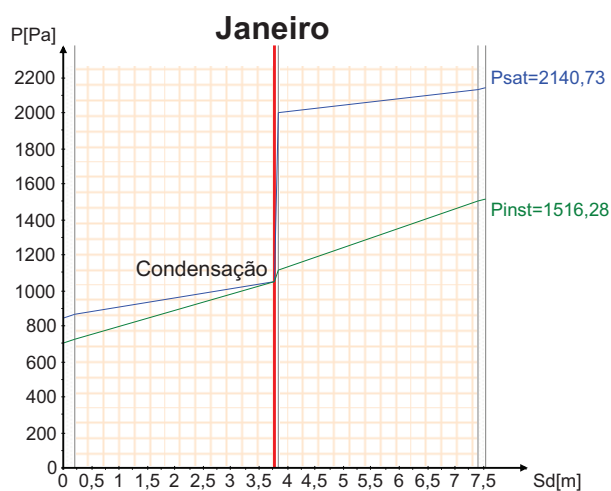
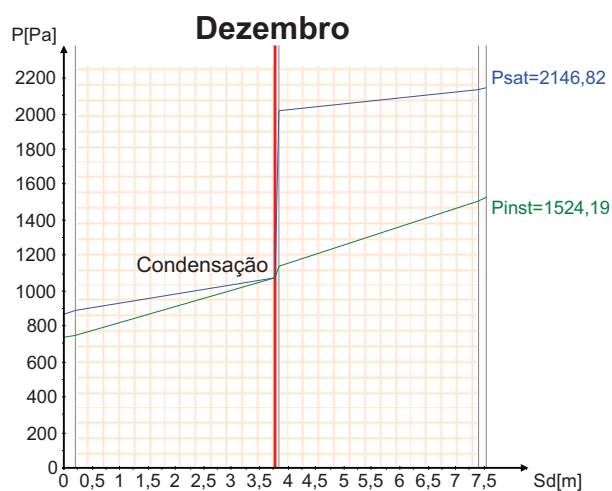
2. Camadas do Elemento Construtivo

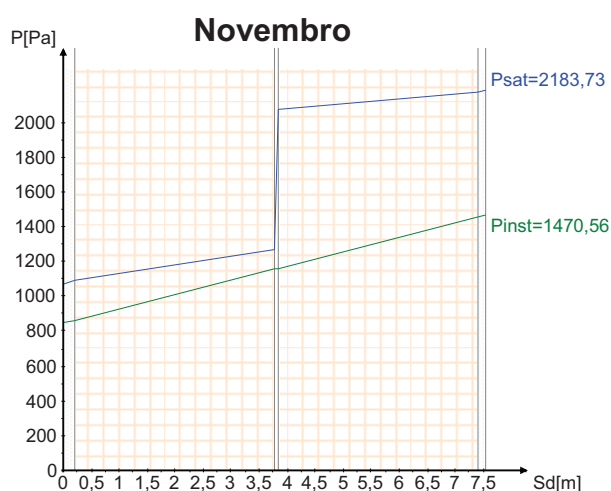
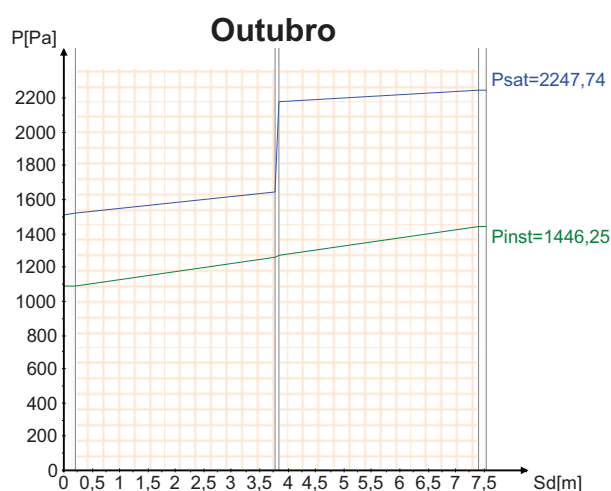
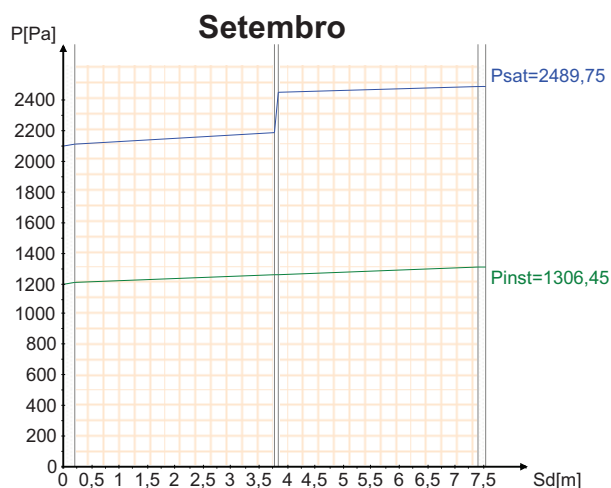
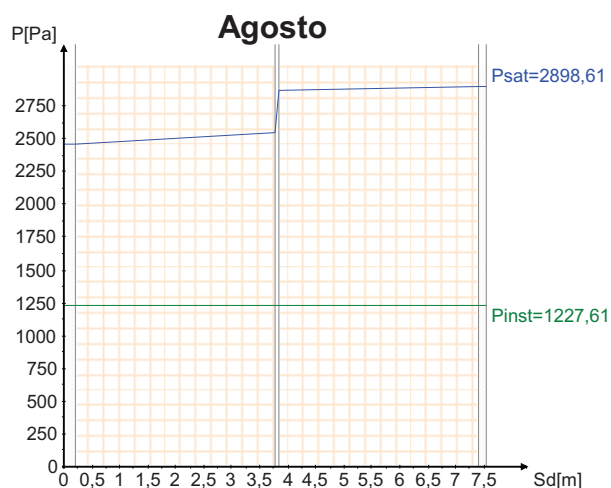
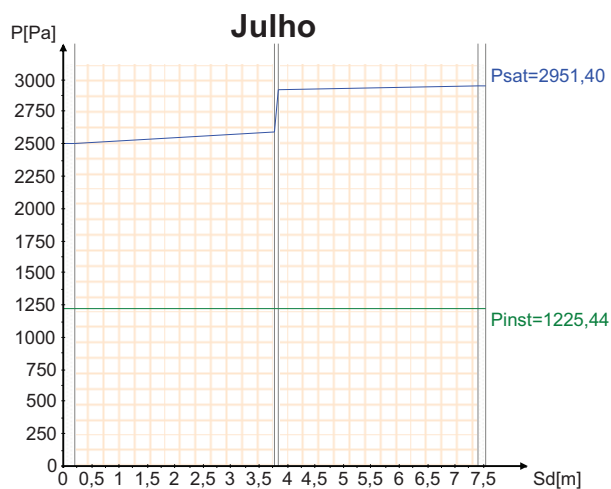
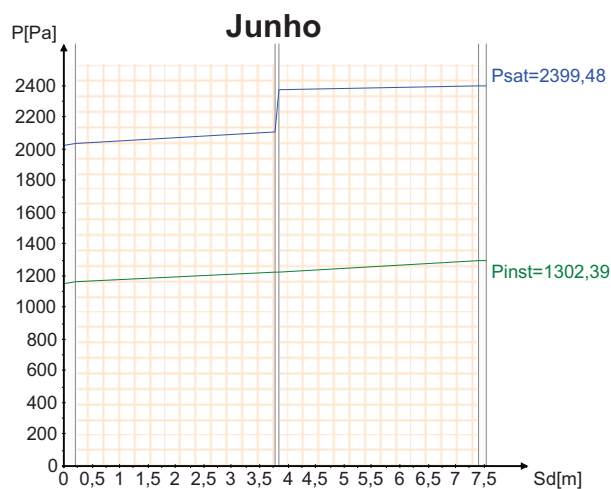
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Reboco	0,02	1	10	
Tijolo	0,2	0,4	17,8	
Lã mineral	0,07	0,04	1	
Tijolo	0,07	0,4	50,9	
Reboco	0,015	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	Δv [g/m³]	P_i [Pa]	$gc1$ [kg/(m²s)]	$Ma1$ [kg/m²]
Dezembro	744	5,0	84	732,366	20,0	6	1524,188	5,40E-09	0,0145
Janeiro	744	4,5	83	698,777	20,0	6,2	1516,277	6,25E-09	0,0312
Fevereiro	672	5,9	77	714,696	20,0	5,7	1468,112	-4,20E-09	0,0210
Março	744	8,0	68	729,101	20,0	4,7	1352,618	-2,38E-08	0
Abril	720	10,0	66	810,025	20,0	4	1342,526	0,00E+00	0
Maió	744	13,4	63	968,043	20,0	2,6	1316,211	0,00E+00	0
Junho	720	17,7	57	1153,817	20,7	1,1	1302,390	0,00E+00	0
Julho	744	21,1	49	1225,436	24,1	0	1225,436	0,00E+00	0
Agosto	744	20,8	50	1227,606	23,8	0	1227,606	0,00E+00	0
Setembro	720	18,3	57	1198,175	21,3	0,8	1306,449	0,00E+00	0
Outubro	744	13,1	72	1084,880	20,0	2,7	1446,251	0,00E+00	0
Novembro	720	8,0	79	847,043	20,0	4,7	1470,561	0,00E+00	0

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Vertical
Nº de camadas: 5

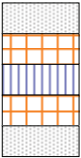
1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Portalegre

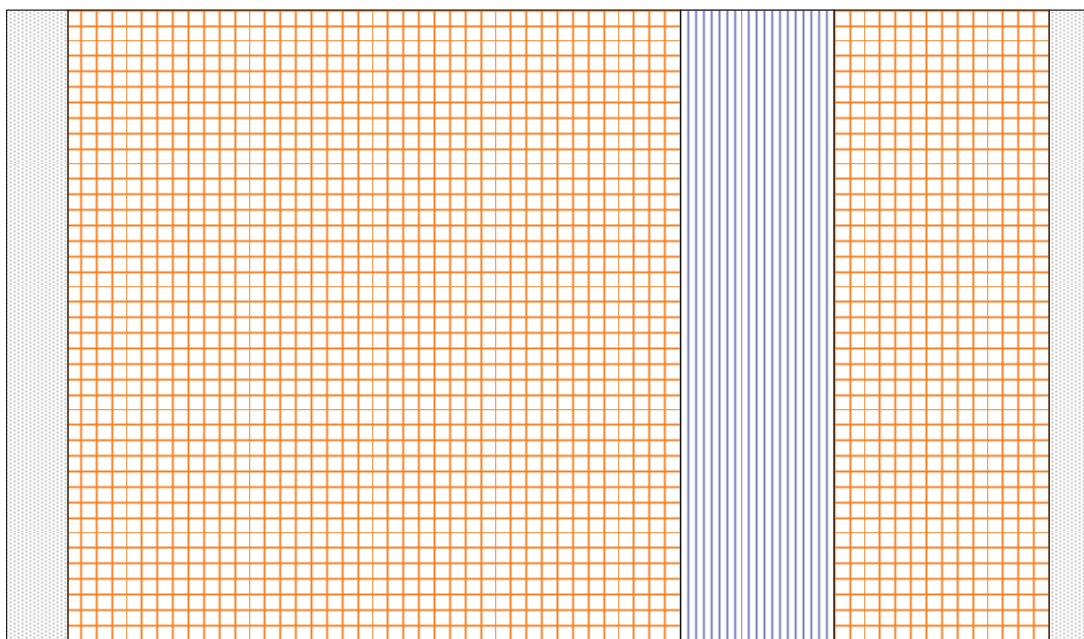
1.3 Condições Interiores

Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

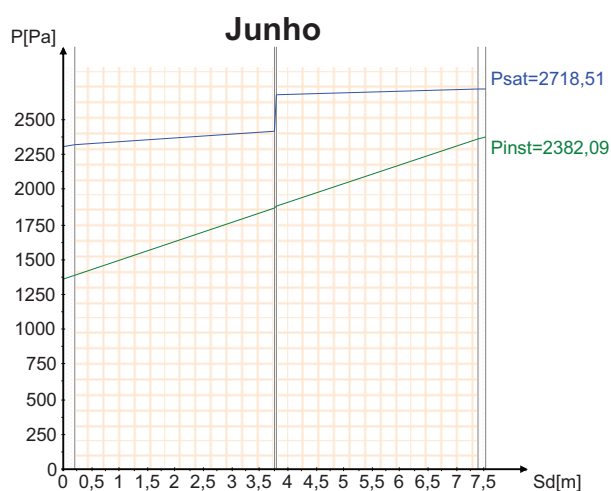
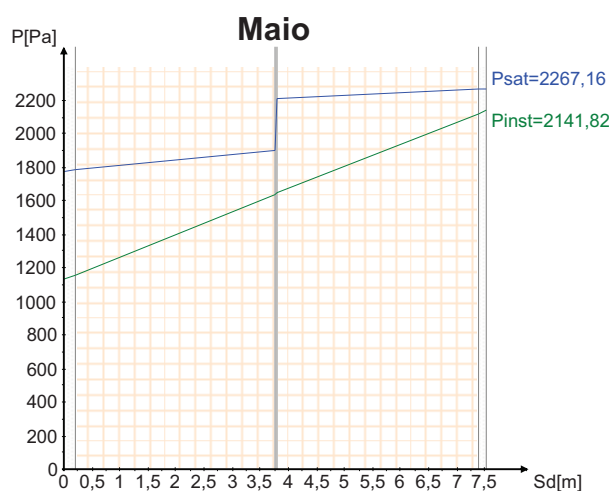
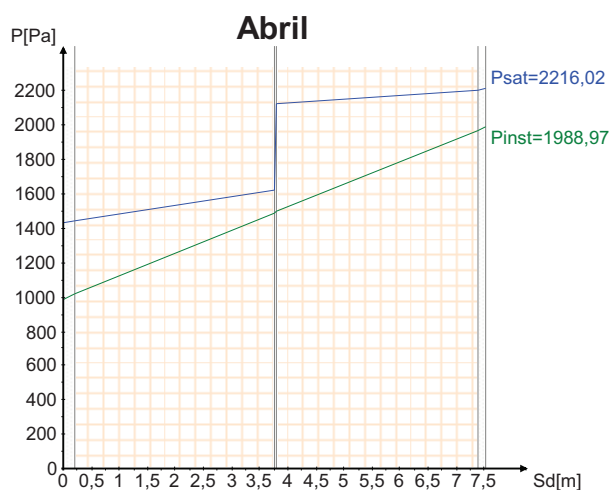
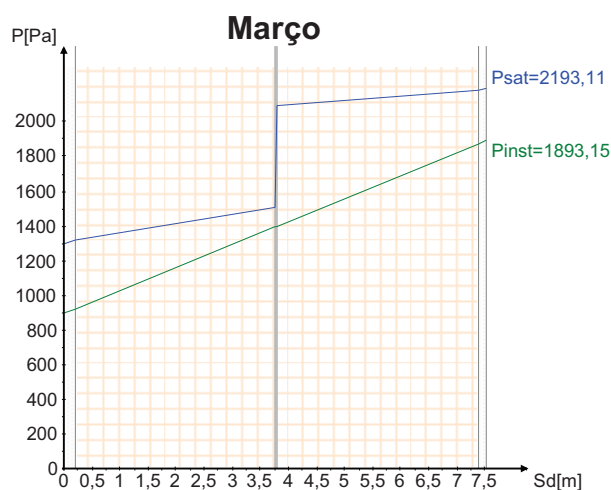
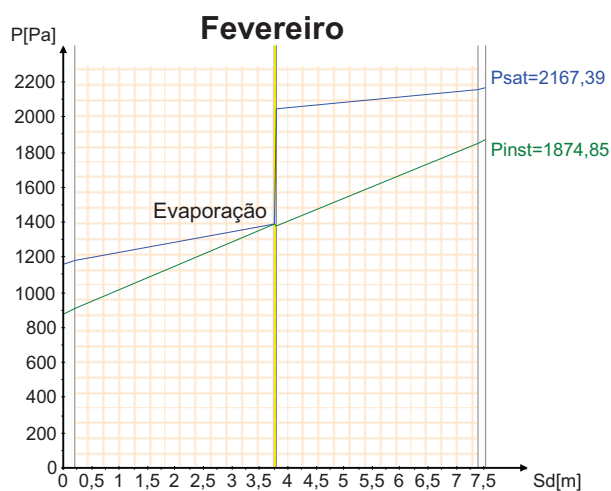
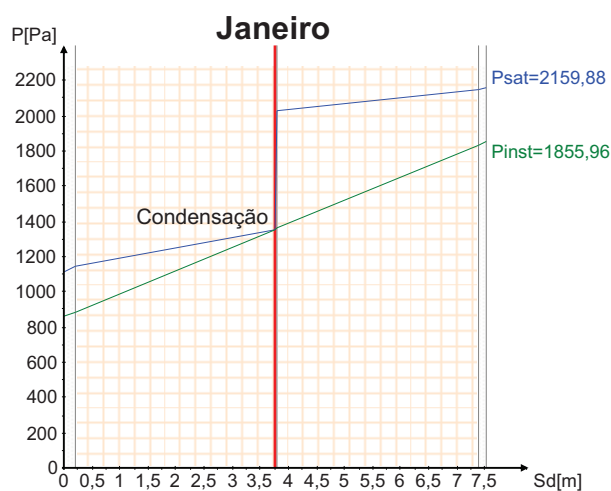
2. Camadas do Elemento Construtivo

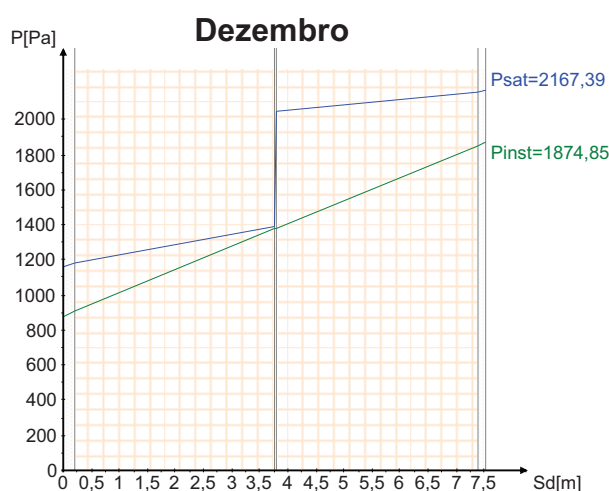
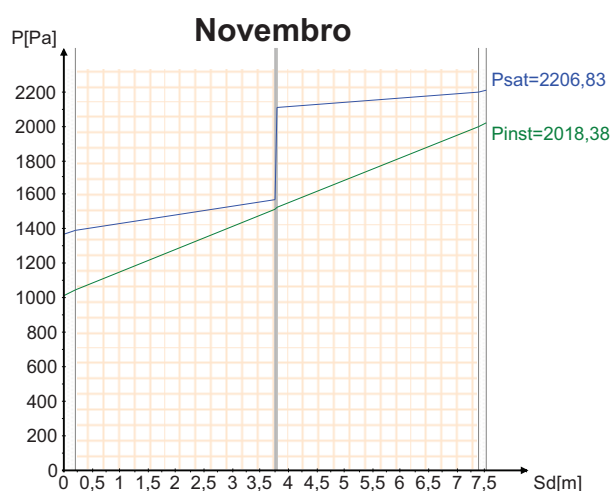
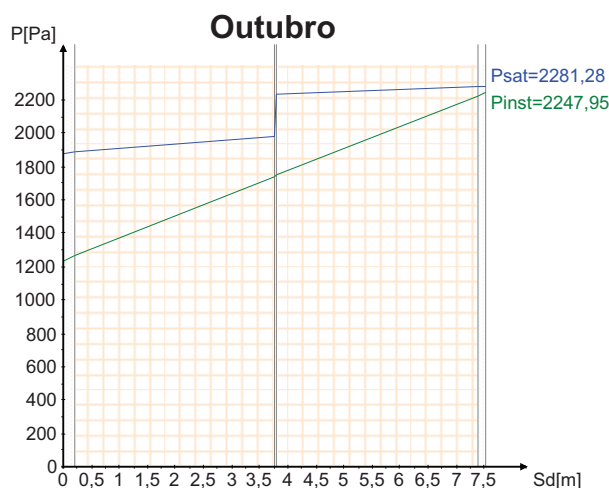
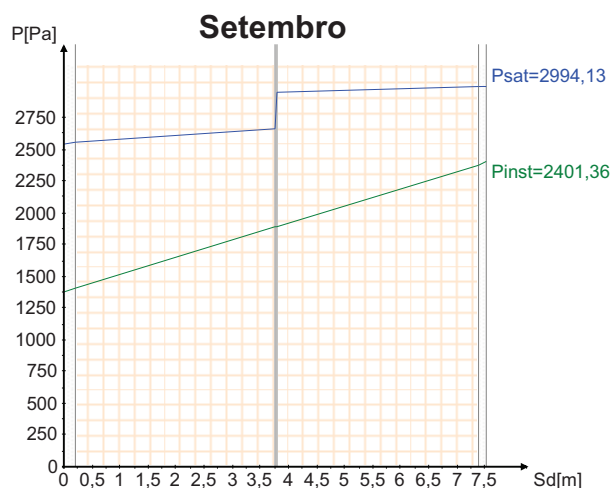
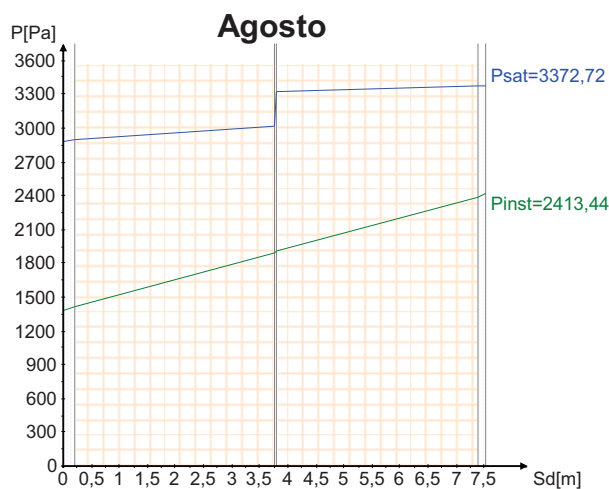
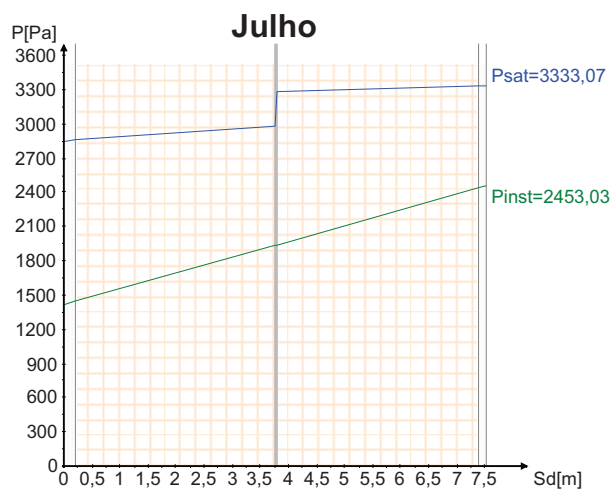
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Reboco	0,02	1	10	
Tijolo	0,2	0,4	17,8	
Lã mineral	0,05	0,04	1	
Tijolo	0,07	0,4	50,9	
Reboco	0,015	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	Δv [g/m³]	P_i [Pa]	$gc1$ [kg/(m²s)]	$Ma1$ [kg/m²]
Janeiro	744	8,6	77	859,948	20,0	7,5	1855,962	7,57E-10	0,0020
Fevereiro	672	9,1	76	877,974	20,0	7,5	1874,855	-8,92E-10	0
Março	744	10,8	69	893,323	20,0	7,5	1893,149	0,00E+00	0
Abril	720	12,3	69	986,547	20,0	7,5	1988,972	0,00E+00	0
Maior	744	15,6	64	1133,675	20,0	7,5	2141,817	0,00E+00	0
Junho	720	19,8	59	1361,824	22,8	7,5	2382,093	0,00E+00	0
Julho	744	23,2	50	1420,977	26,2	7,5	2453,027	0,00E+00	0
Agosto	744	23,4	48	1380,700	26,4	7,5	2413,443	0,00E+00	0
Setembro	720	21,4	54	1375,546	24,4	7,5	2401,360	0,00E+00	0
Outubro	744	16,5	66	1238,247	20,0	7,5	2247,948	0,00E+00	0
Novembro	720	11,7	74	1016,996	20,0	7,5	2018,381	0,00E+00	0
Dezembro	744	9,1	76	877,974	20,0	7,5	1874,855	0,00E+00	0

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

ANEXO A4

RESULTADOS OBTIDOS DO PROGRAMA CONDENSE 13788 – COBERTURA HORIZONTAL EM TERRAÇO COM ISOLAMENTO EXTERIOR

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Horizontal
Nº de camadas: 6







1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Bragança

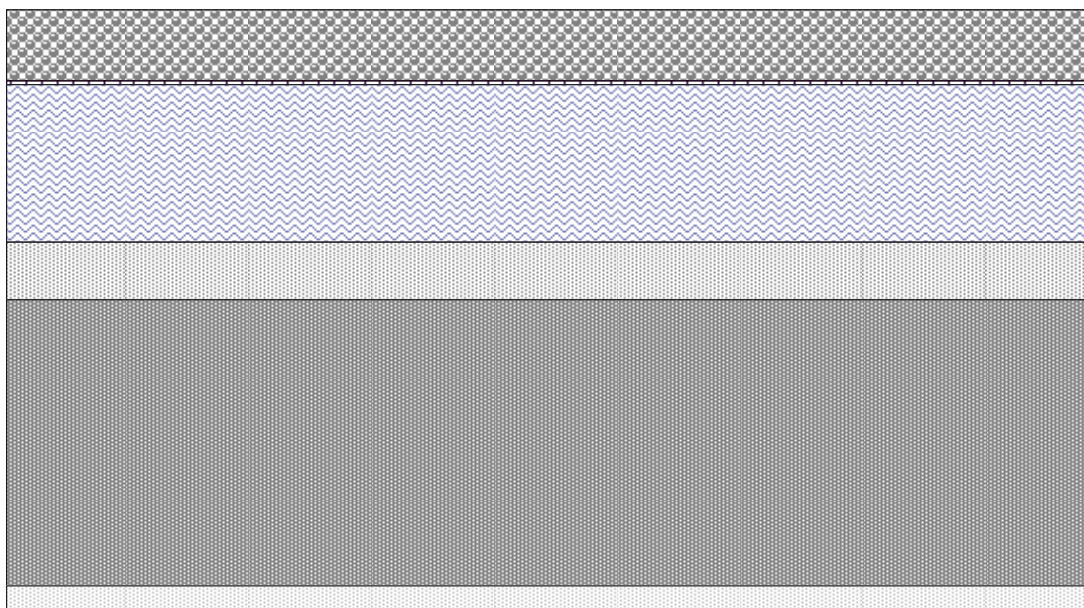
1.3 Condições Interiores

Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

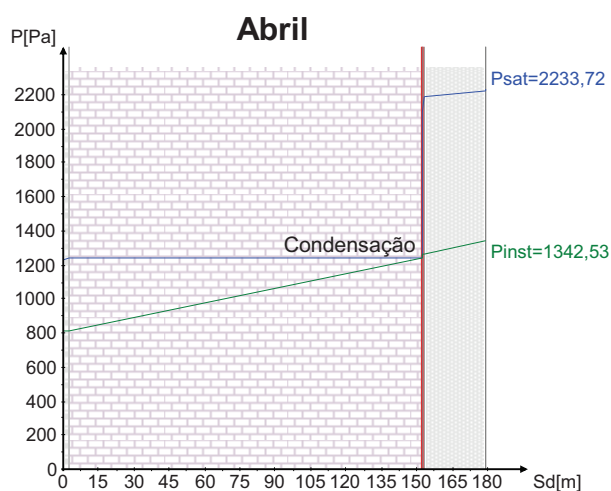
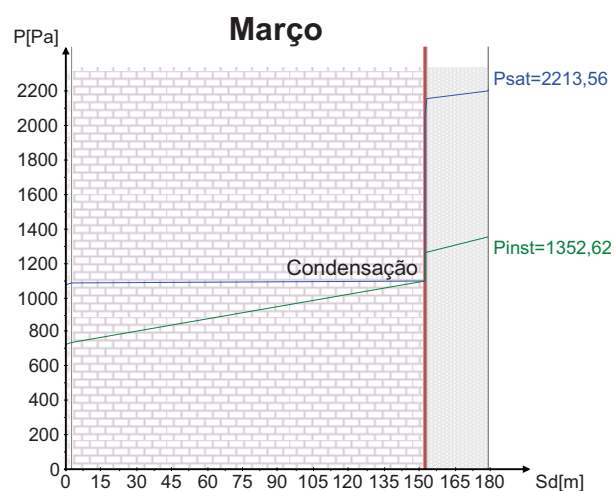
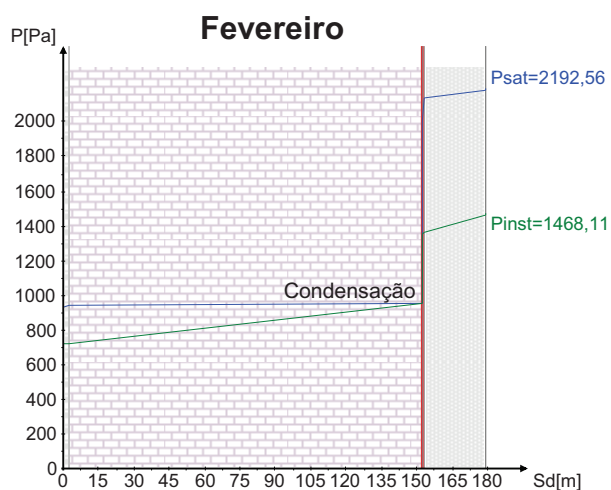
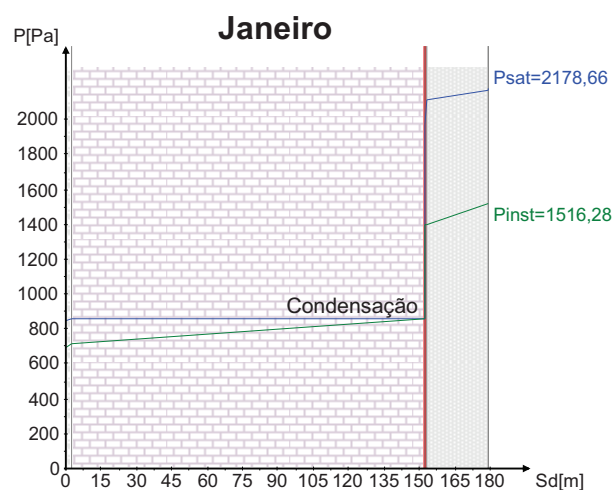
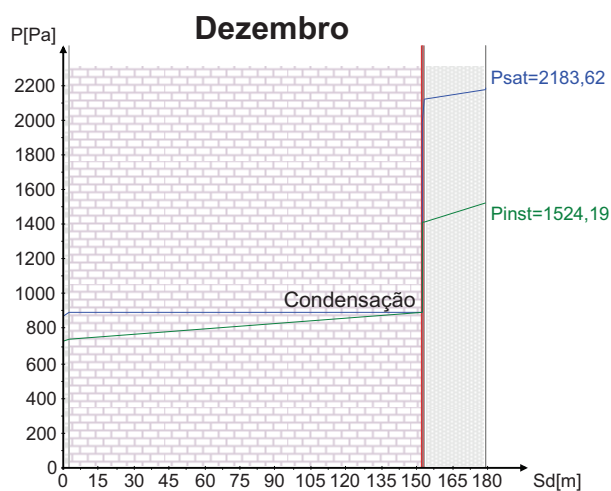
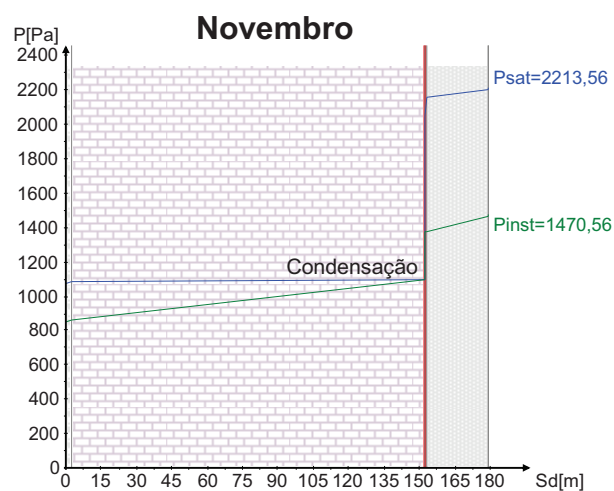
2. Camadas do Elemento Construtivo

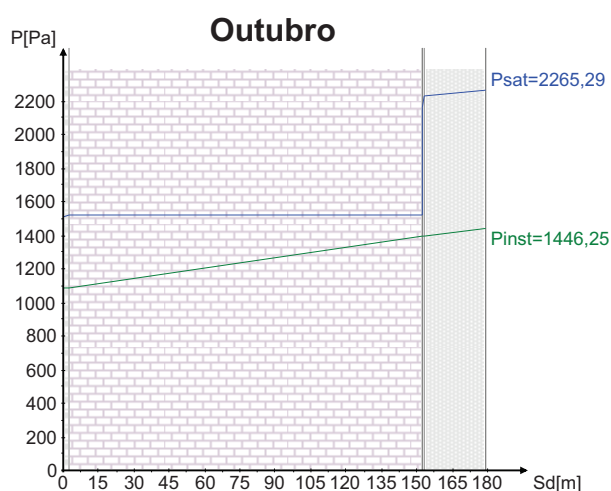
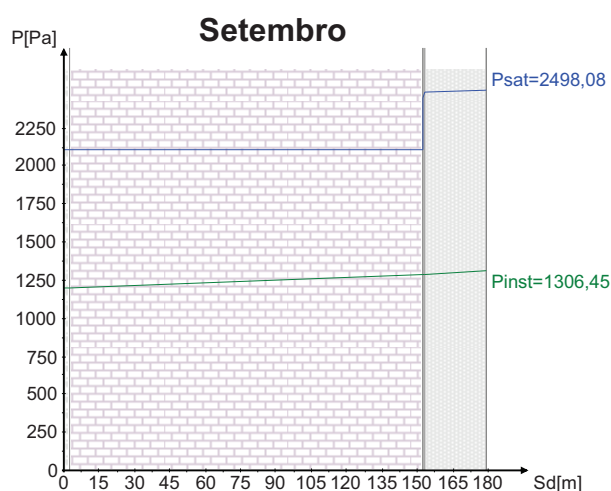
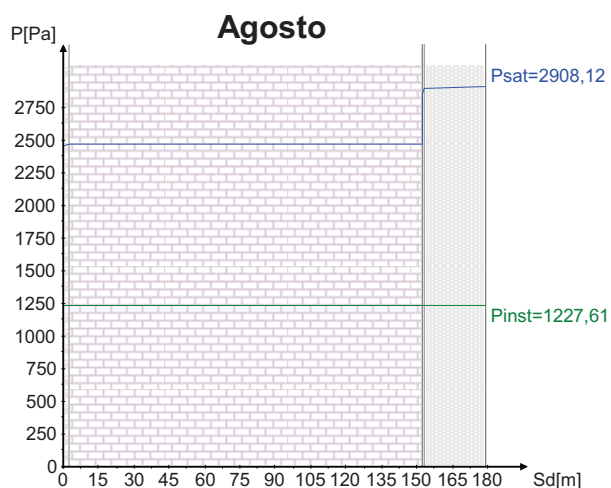
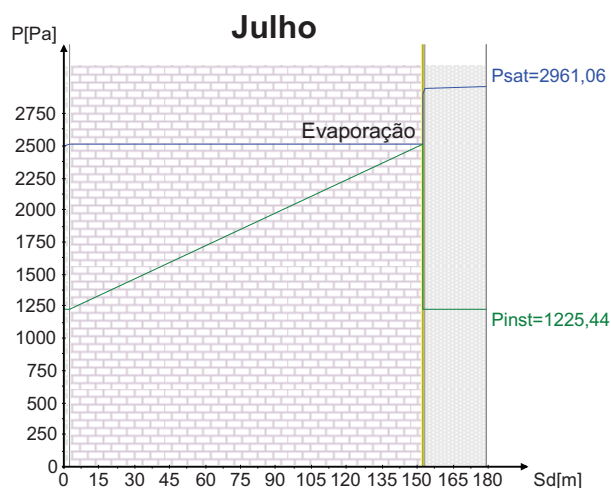
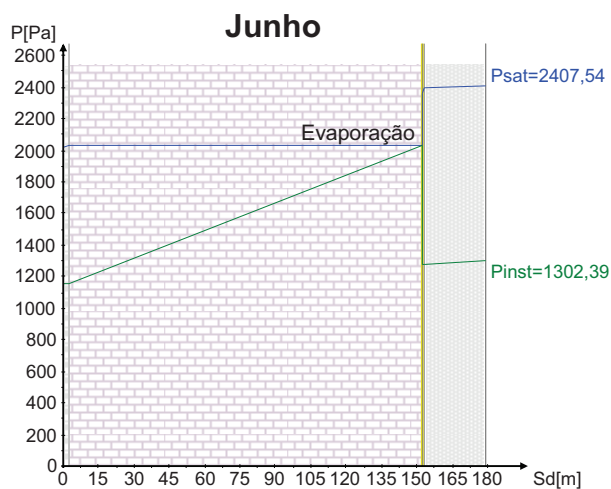
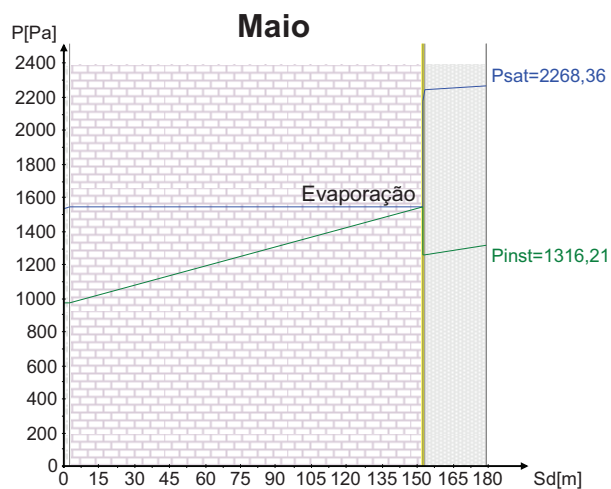
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Camada de godo	0,05	2	50	
Feltro betuminoso	0,003	0,23	50000	
Lã mineral	0,11	0,04	1	
Camada de forma	0,04	0,16	10	
Laje de betão	0,2	2,3	130	
Reboco	0,02	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	Δv [g/m³]	P_i [Pa]	$gc1$ [kg/(m²s)]	$Ma1$ [kg/m²]
Novembro	720	8,0	79	847,043	20,0	4,7	1470,561	2,51E-09	0,0065
Dezembro	744	5,0	84	732,366	20,0	6	1524,188	4,52E-09	0,0186
Janeiro	744	4,5	83	698,777	20,0	6,2	1516,277	4,68E-09	0,0311
Fevereiro	672	5,9	77	714,696	20,0	5,7	1468,112	3,58E-09	0,0398
Março	744	8,0	68	729,101	20,0	4,7	1352,618	1,47E-09	0,0437
Abril	720	10,0	66	810,025	20,0	4	1342,526	1,50E-10	0,0441
Maio	744	13,4	63	968,043	20,0	2,6	1316,211	-2,53E-09	0,0373
Junho	720	17,7	57	1153,817	20,7	1,1	1302,390	-6,62E-09	0,0201
Julho	744	21,1	49	1225,436	24,1	0	1225,436	-1,13E-08	0
Agosto	744	20,8	50	1227,606	23,8	0	1227,606	0,00E+00	0
Setembro	720	18,3	57	1198,175	21,3	0,8	1306,449	0,00E+00	0
Outubro	744	13,1	72	1084,880	20,0	2,7	1446,251	0,00E+00	0

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Horizontal
Nº de camadas: 6







1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Porto

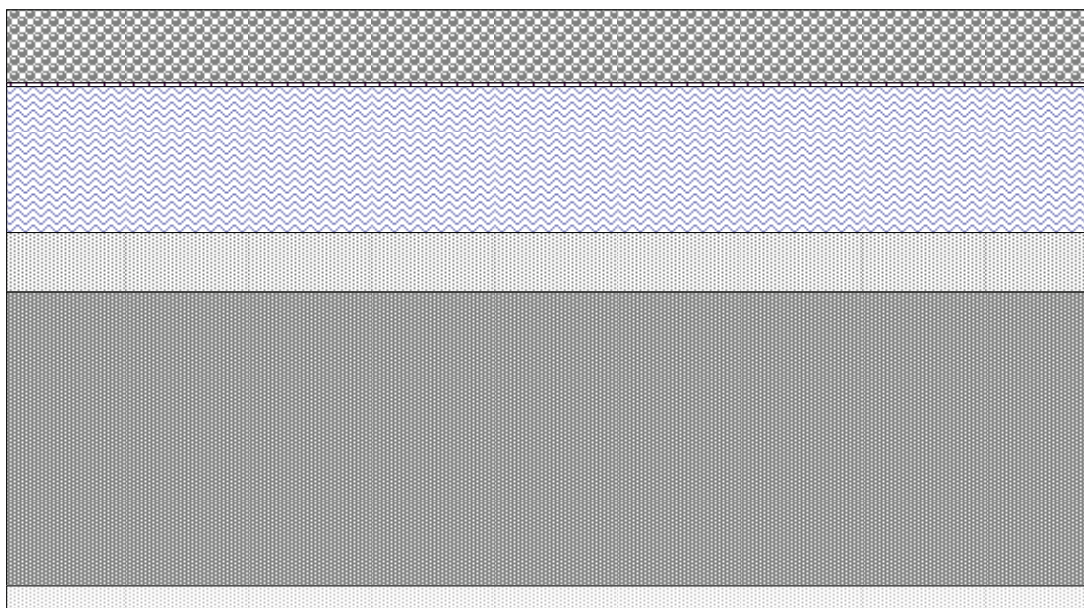
1.3 Condições Interiores

Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

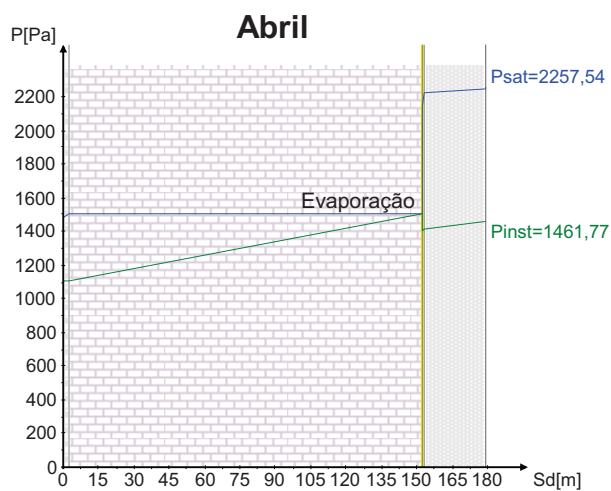
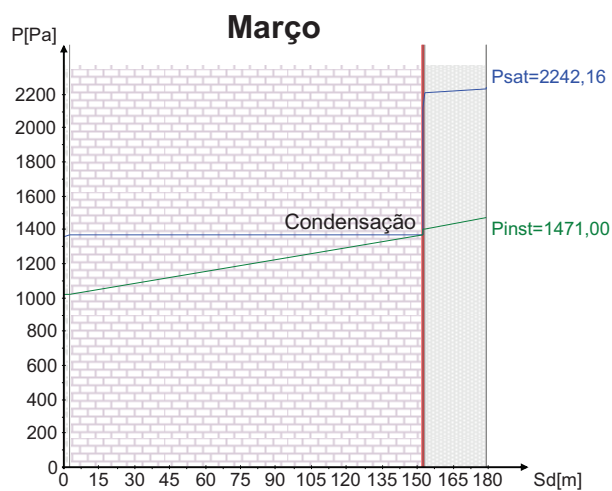
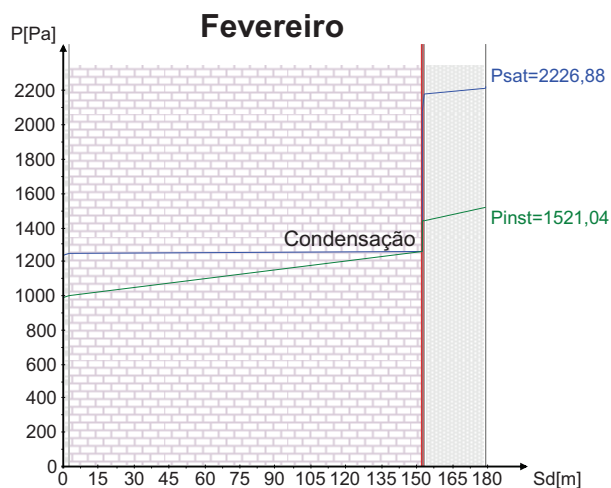
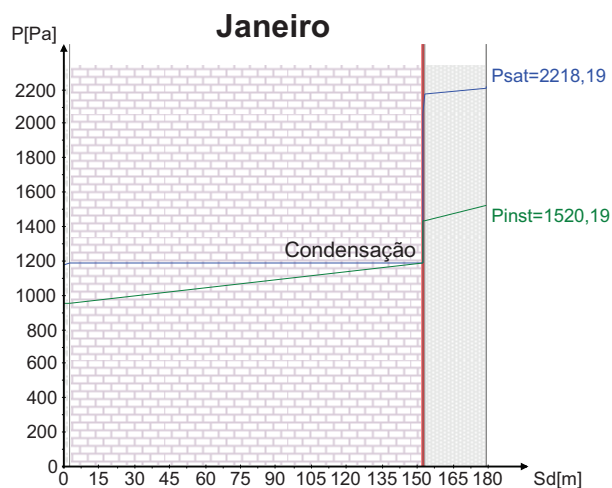
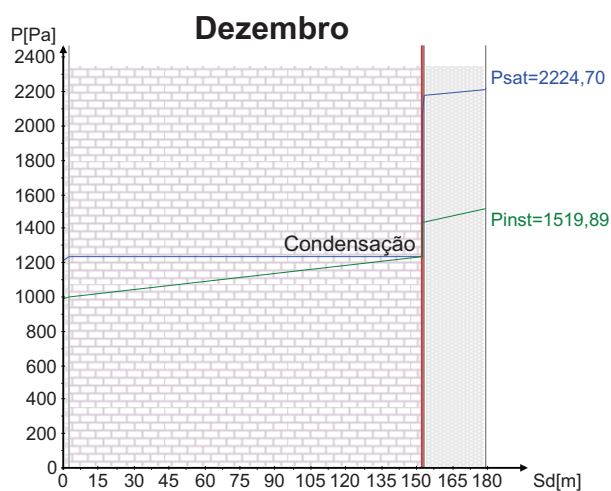
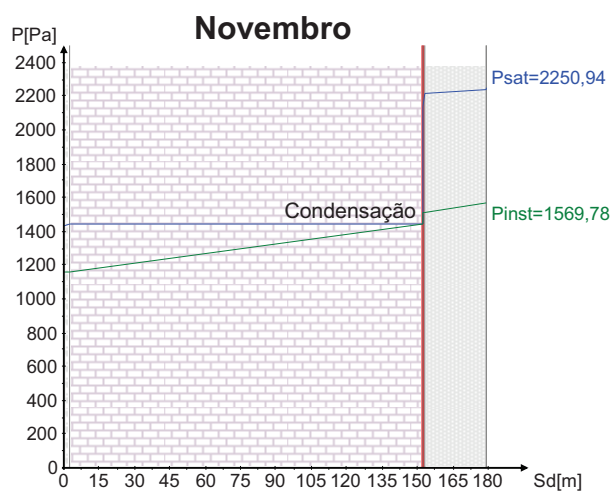
2. Camadas do Elemento Construtivo

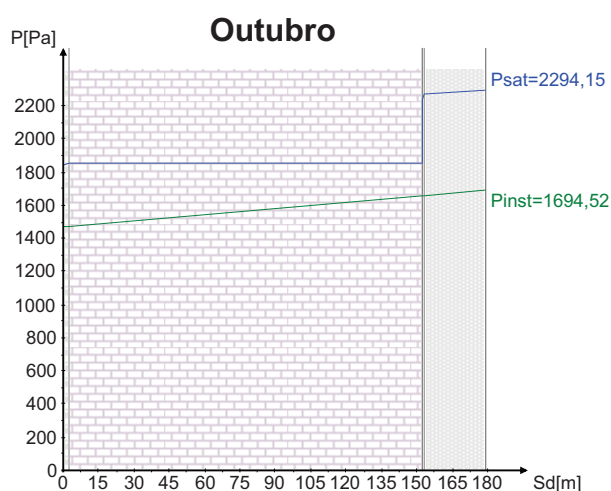
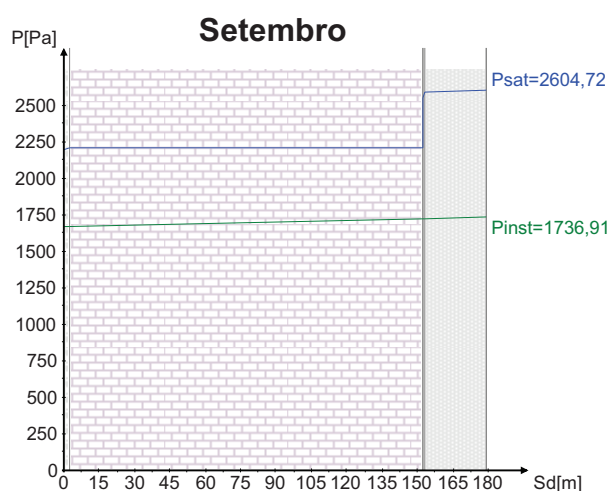
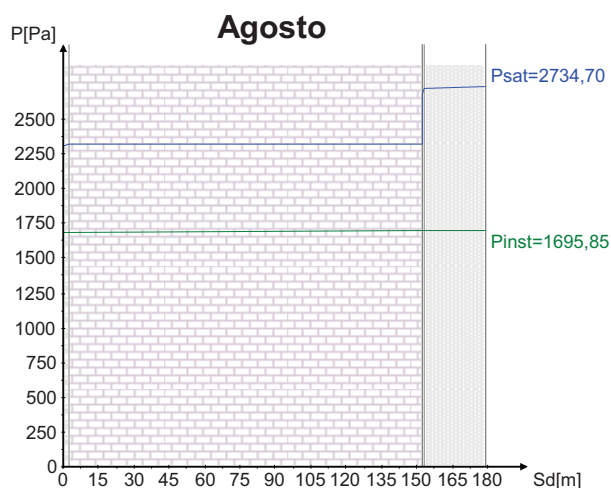
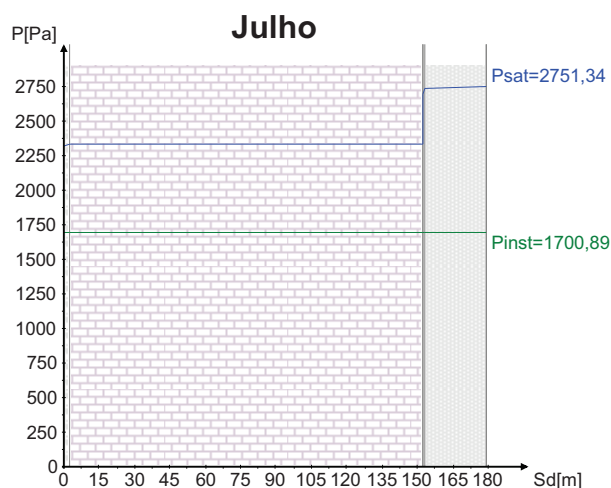
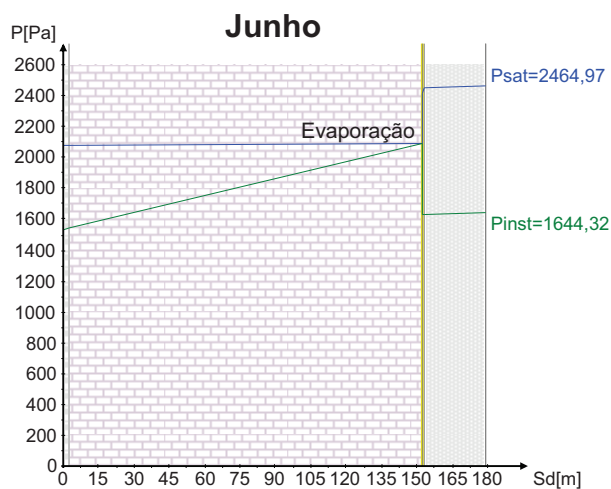
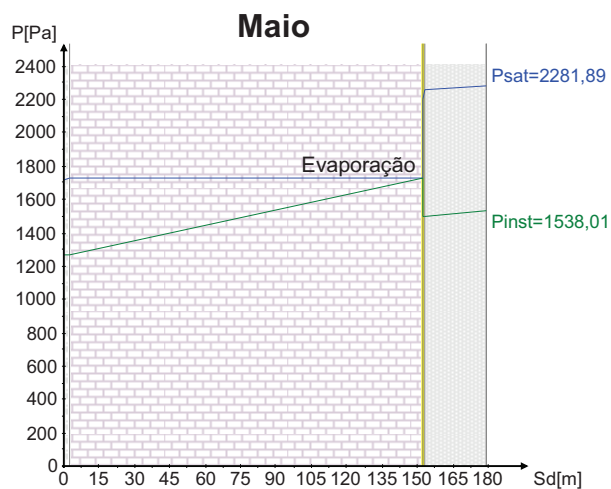
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Camada de godo	0,05	2	50	
Feltro betuminoso	0,003	0,23	50000	
Lã mineral	0,1	0,04	1	
Camada de forma	0,04	0,16	10	
Laje de betão	0,2	2,3	130	
Reboco	0,02	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]	gc1 [kg/(m²s)]	Ma1 [kg/m²]
Novembro	720	12,3	81	1158,120	20,0	3,08	1569,783	5,35E-10	0,0014
Dezembro	744	9,9	81	987,479	20,0	4	1519,888	1,77E-09	0,0061
Janeiro	744	9,3	81	948,443	20,0	4,3	1520,186	2,14E-09	0,0118
Fevereiro	672	10,1	80	988,446	20,0	4	1521,040	1,64E-09	0,0158
Março	744	11,5	75	1017,192	20,0	3,4	1470,997	2,49E-10	0,0165
Abril	720	12,9	74	1100,524	20,0	2,7	1461,771	-8,47E-10	0,0143
Maio	744	15,1	74	1269,404	20,0	2	1538,011	-2,03E-09	0,0089
Junho	720	18,1	74	1536,118	21,1	0,8	1644,319	-4,02E-09	0
Julho	744	19,9	73	1695,443	22,9	0,04	1700,886	0,00E+00	0
Agosto	744	19,8	73	1684,969	22,8	0,08	1695,851	0,00E+00	0
Setembro	720	19,0	76	1669,075	22,0	0,5	1736,908	0,00E+00	0
Outubro	744	16,2	80	1472,498	20,0	1,65	1694,518	0,00E+00	0

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Horizontal
Nº de camadas: 6







1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Coimbra

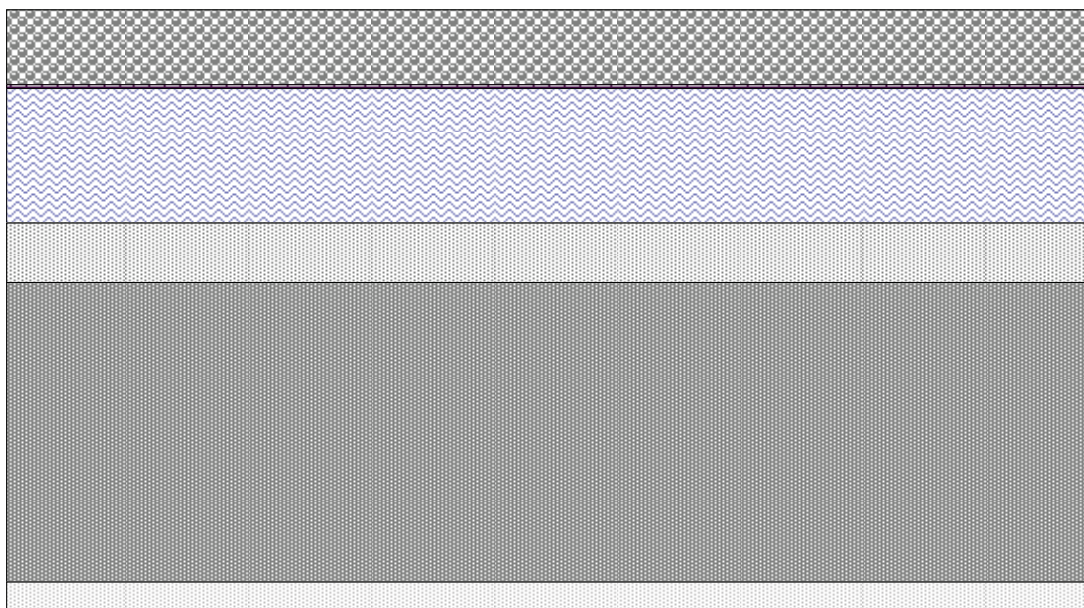
1.3 Condições Interiores

Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

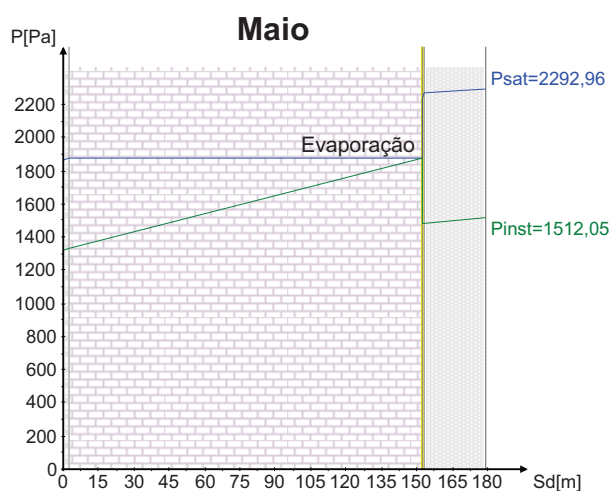
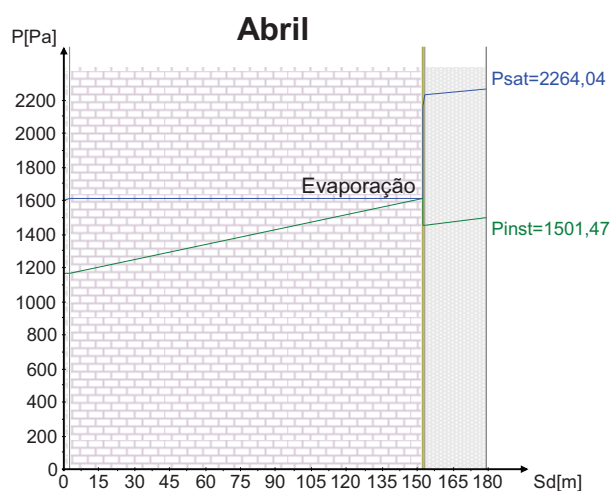
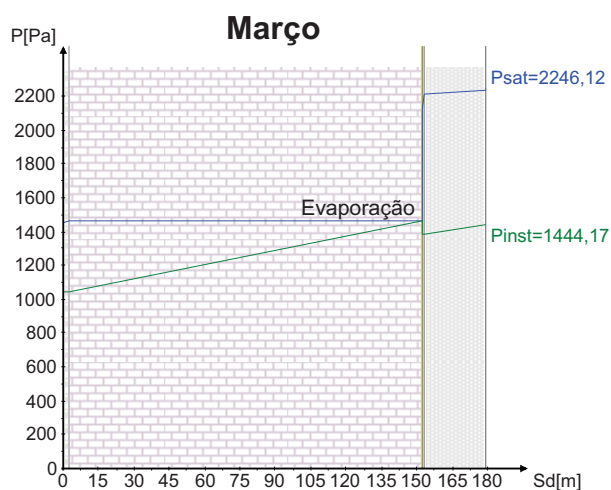
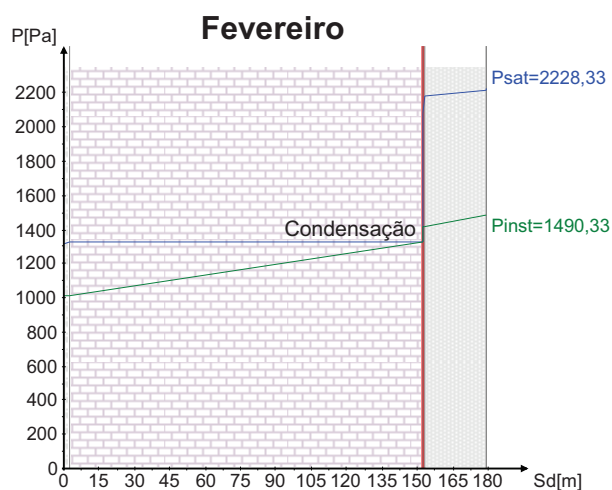
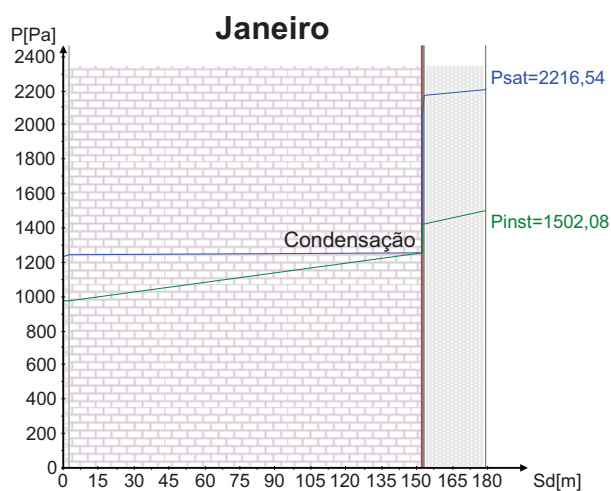
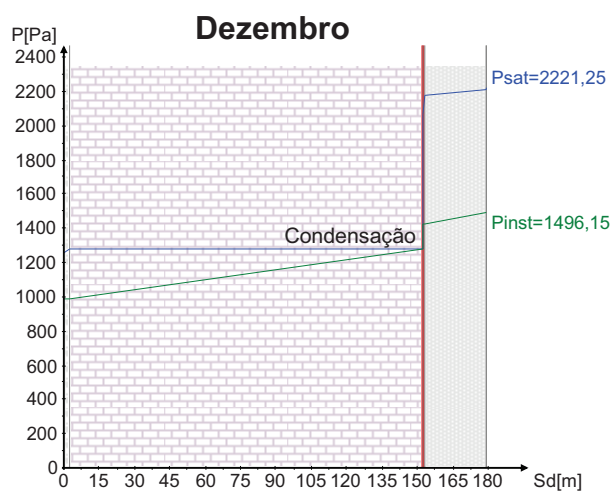
2. Camadas do Elemento Construtivo

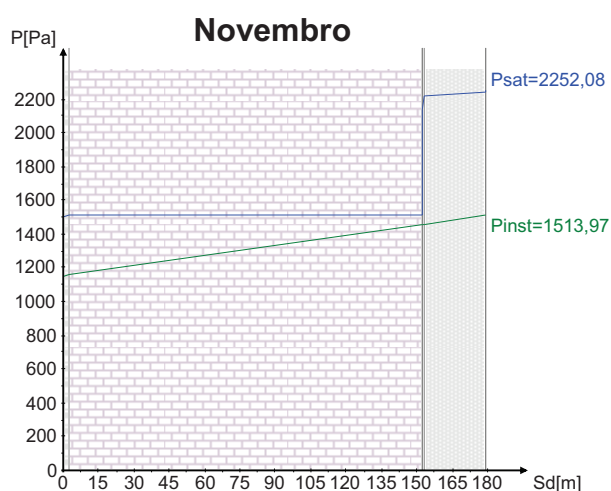
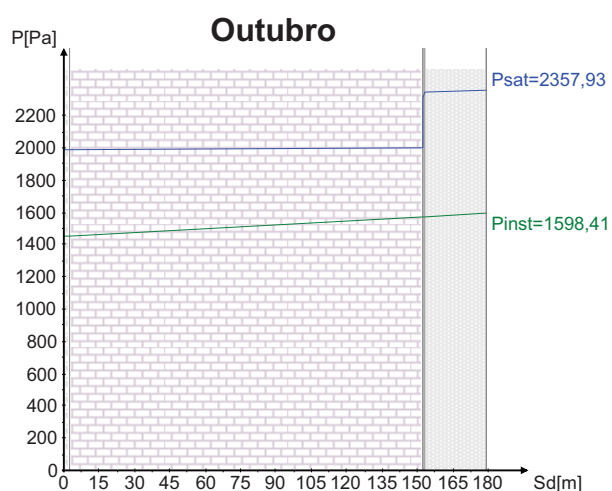
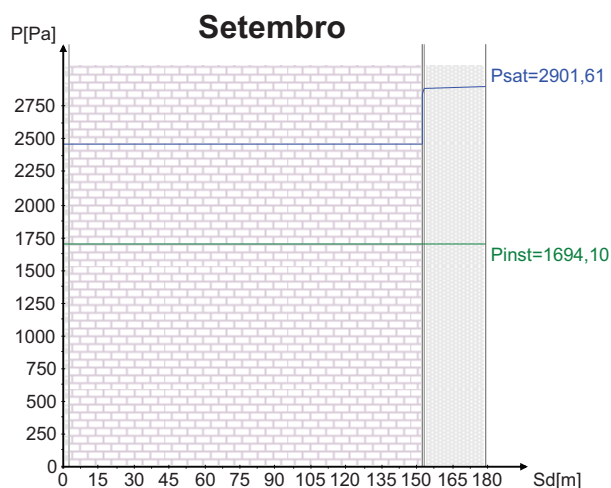
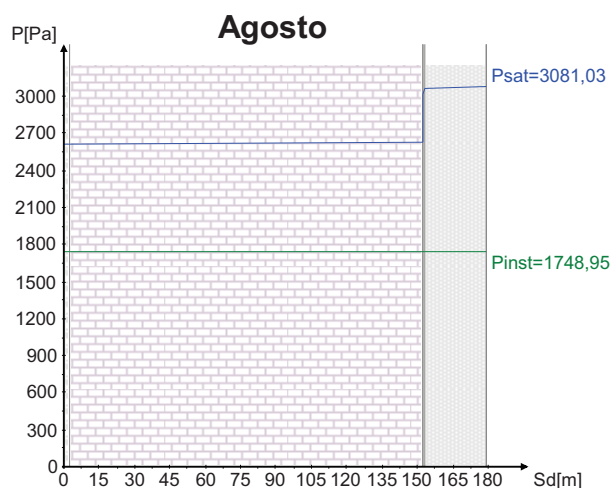
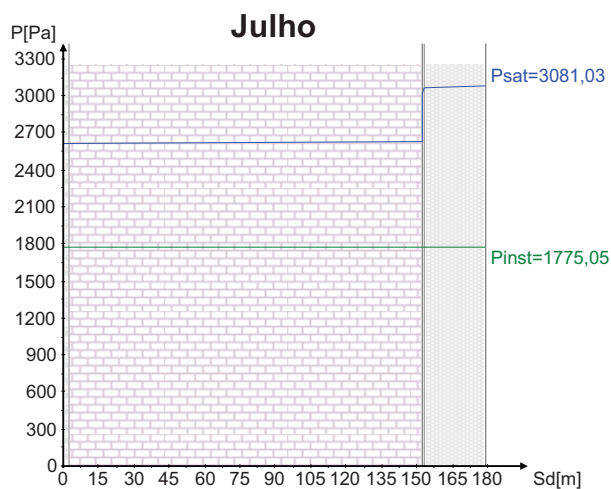
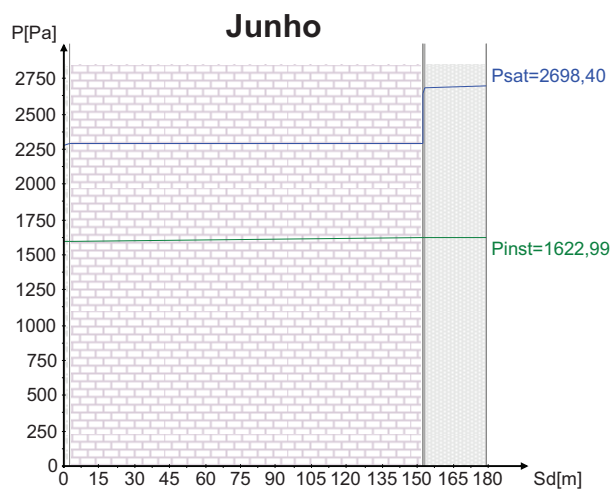
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Camada de godo	0,05	2	50	
Feltro betuminoso	0,003	0,23	50000	
Lã mineral	0,09	0,04	1	
Camada de forma	0,04	0,16	10	
Laje de betão	0,2	2,3	130	
Reboco	0,02	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	Δv [g/m³]	P_i [Pa]	$gc1$ [kg/(m²s)]	$Ma1$ [kg/m²]
Dezembro	744	10,4	78	983,264	20,0	3,85	1496,152	1,21E-09	0,0032
Janeiro	744	10,0	79	969,575	20,0	4	1502,076	1,53E-09	0,0073
Fevereiro	672	11,0	77	1010,249	20,0	3,6	1490,331	7,55E-10	0,0091
Março	744	12,5	72	1043,062	20,0	3	1444,170	-7,34E-10	0,0071
Abril	720	14,0	73	1166,343	20,0	2,5	1501,467	-1,43E-09	0,0034
Maió	744	16,4	71	1323,603	20,0	1,4	1512,048	-3,45E-09	0
Junho	720	19,6	70	1595,798	22,6	0,2	1622,987	0,00E+00	0
Julho	744	21,8	68	1775,051	24,8	0	1775,051	0,00E+00	0
Agosto	744	21,8	67	1748,948	24,8	0	1748,948	0,00E+00	0
Setembro	720	20,8	69	1694,096	23,8	0	1694,096	0,00E+00	0
Outubro	744	17,4	73	1449,988	20,4	1,1	1598,408	0,00E+00	0
Novembro	720	13,0	77	1152,657	20,0	2,7	1513,967	0,00E+00	0

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Horizontal
Nº de camadas: 6







1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Portalegre

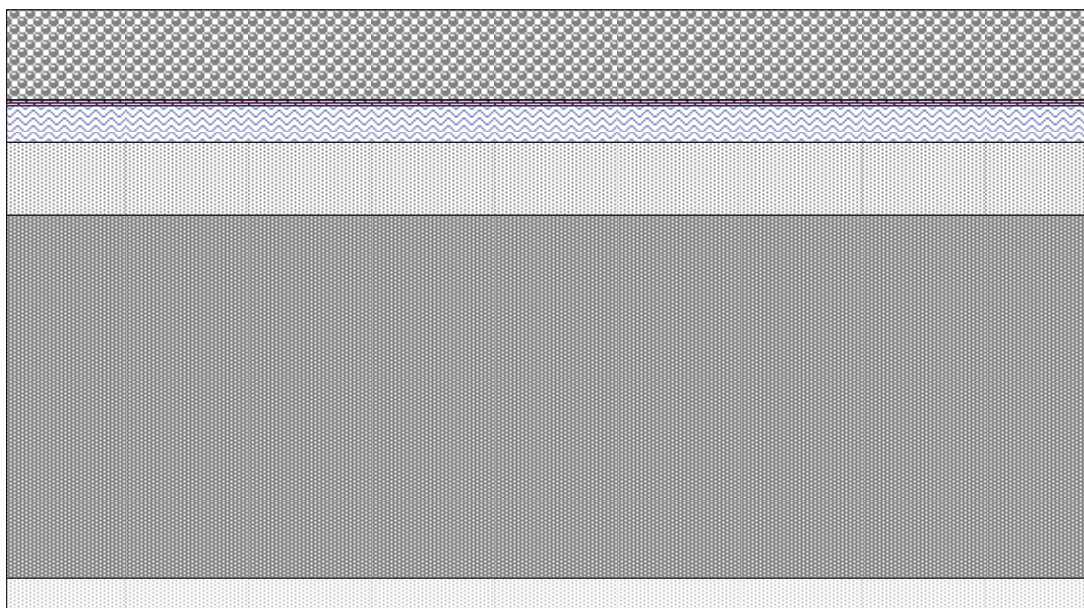
1.3 Condições Interiores

Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

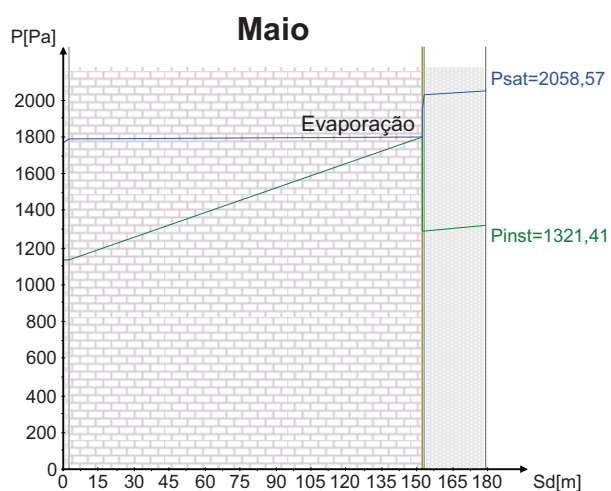
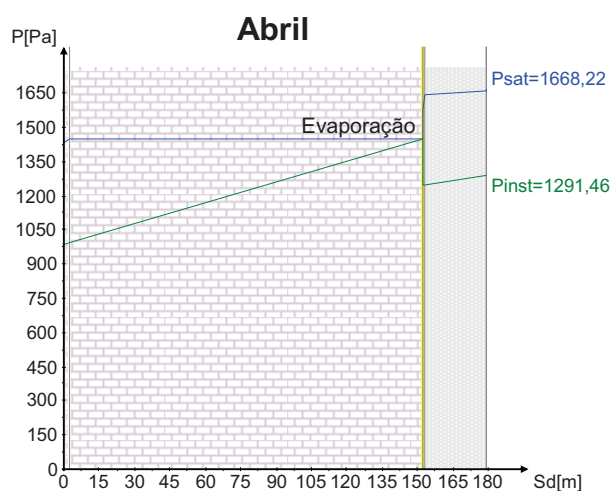
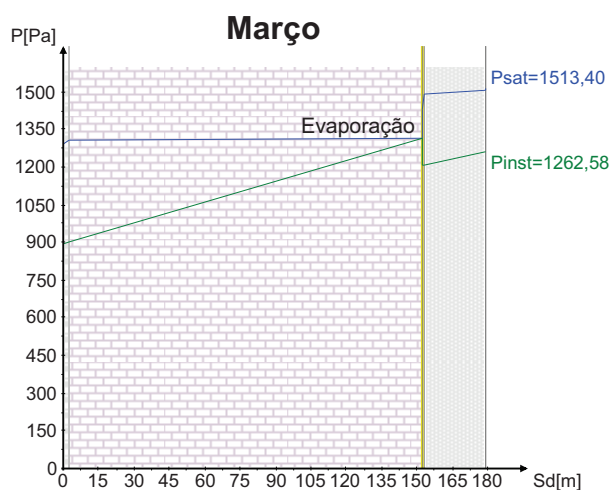
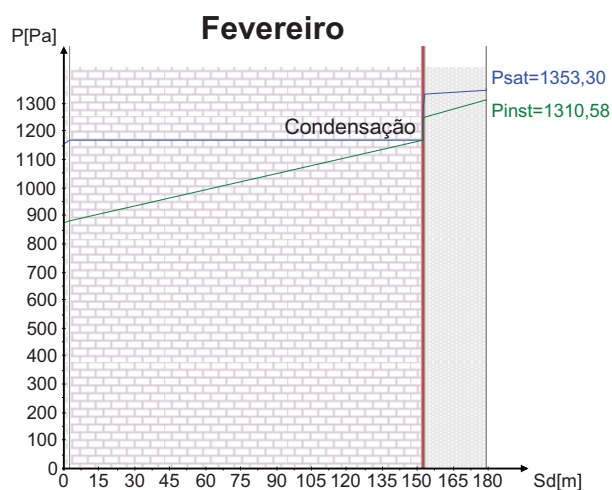
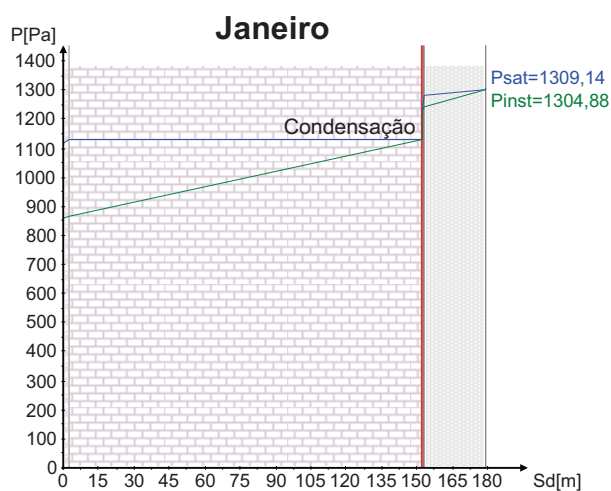
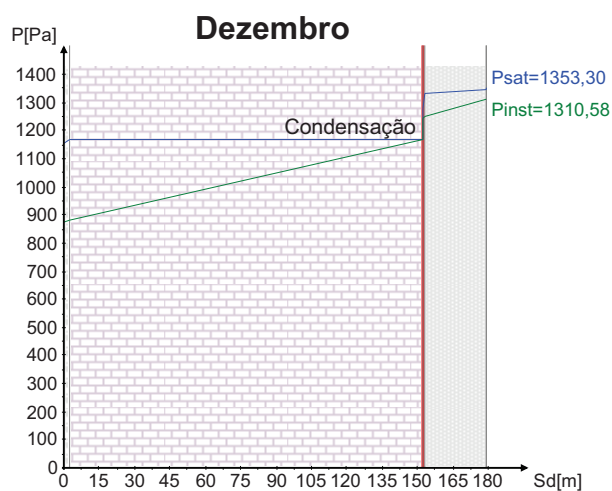
2. Camadas do Elemento Construtivo

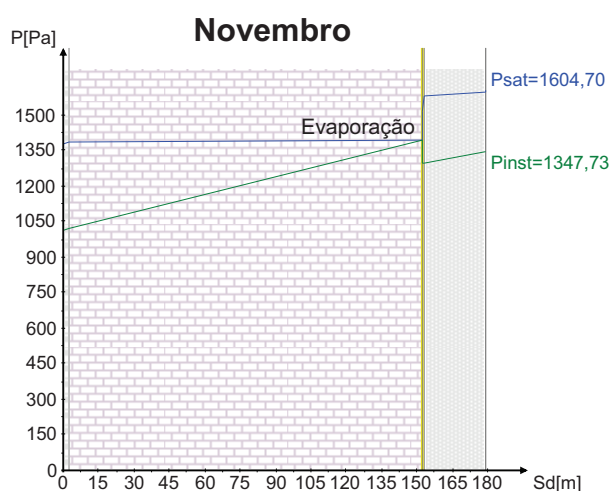
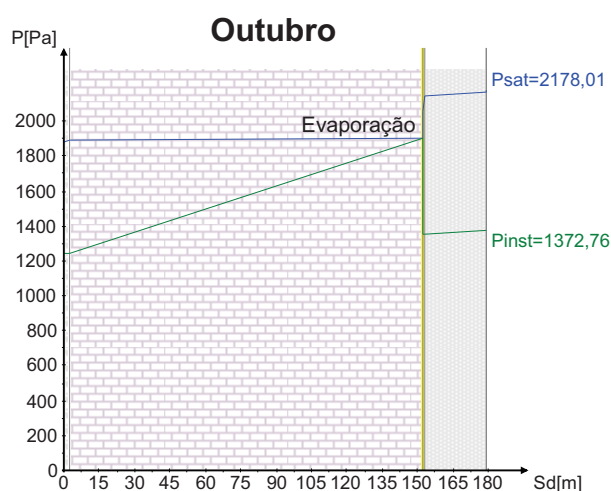
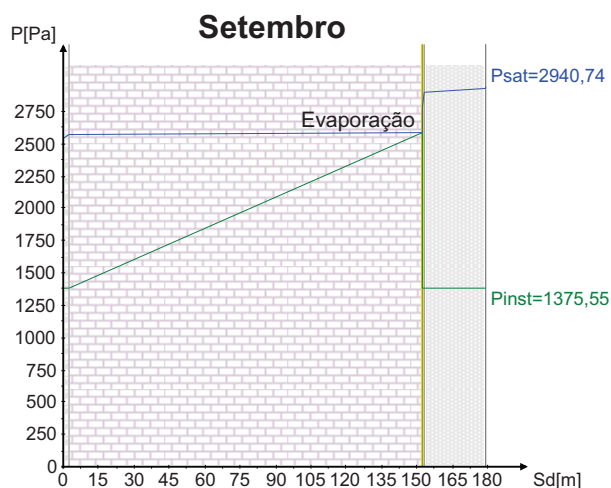
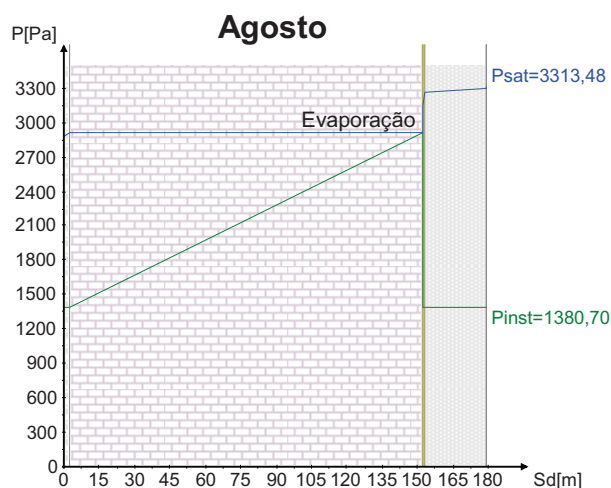
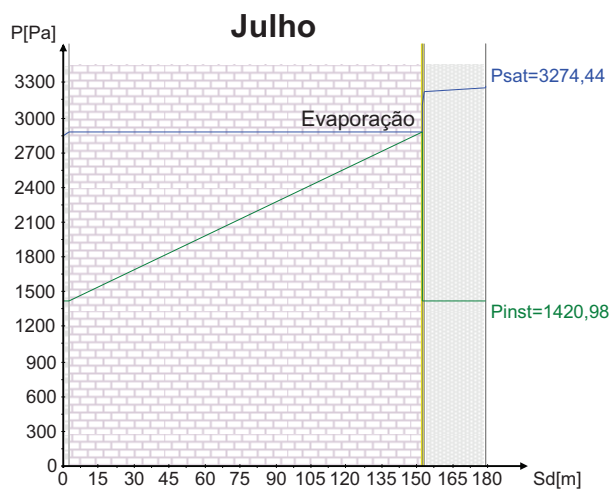
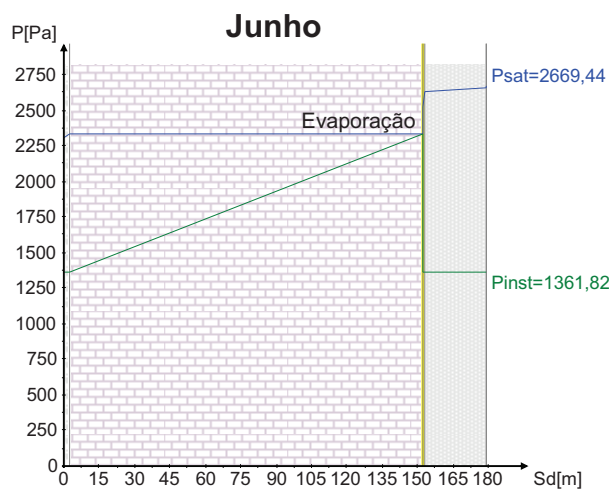
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Camada de godo	0,05	2	50	
Feltro betuminoso	0,003	0,23	50000	
Lã mineral	0,02	0,04	1	
Camada de forma	0,04	0,16	10	
Laje de betão	0,2	2,3	130	
Reboco	0,02	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]	gc1 [kg/(m²s)]	Ma1 [kg/m²]
Dezembro	744	9,1	76	877,974	12,1	3,3	1310,579	6,67E-10	0,0018
Janeiro	744	8,6	77	859,948	11,6	3,4	1304,877	1,01E-06	2,6973
Fevereiro	672	9,1	76	877,974	12,1	3,3	1310,579	6,67E-10	2,6989
Março	744	10,8	69	893,323	13,8	2,8	1262,581	-9,19E-10	2,6964
Abril	720	12,3	69	986,547	15,3	2,3	1291,460	-1,79E-09	2,6918
Maió	744	15,6	64	1133,675	18,6	1,4	1321,409	-4,42E-09	2,6800
Junho	720	19,8	59	1361,824	22,8	0	1361,824	-8,60E-09	2,6577
Julho	744	23,2	50	1420,977	26,2	0	1420,977	-1,28E-08	2,6233
Agosto	744	23,4	48	1380,700	26,4	0	1380,700	-1,35E-08	2,5871
Setembro	720	21,4	54	1375,546	24,4	0	1375,546	-1,06E-08	2,5596
Outubro	744	16,5	66	1238,247	19,5	1	1372,758	-4,83E-09	2,5467
Novembro	720	11,7	74	1016,996	14,7	2,5	1347,730	-8,28E-10	2,5446

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise, não se verificando a possibilidade da sua secagem por completo durante os meses de verão.
Deverão ser alteradas as características do elemento em estudo para que seja possível utilizá-lo sob as condições climáticas escolhidas.

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Horizontal
Nº de camadas: 6







1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Lisboa

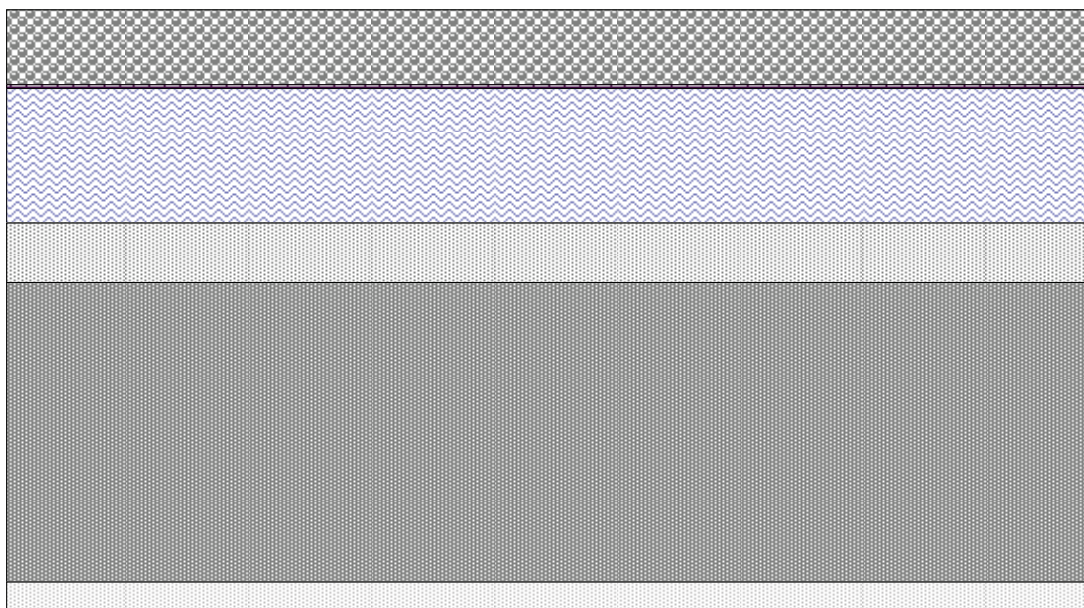
1.3 Condições Interiores

Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

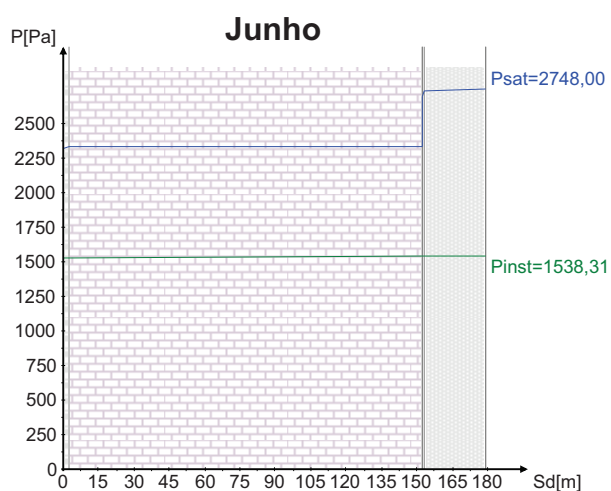
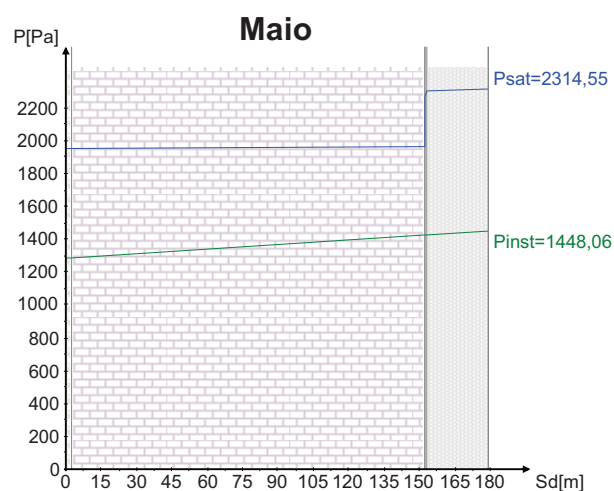
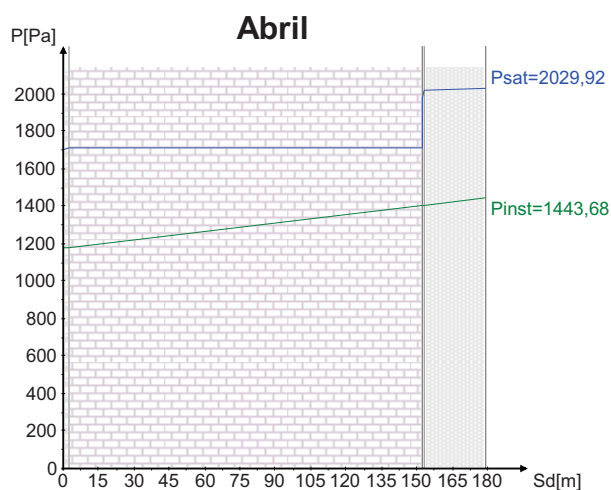
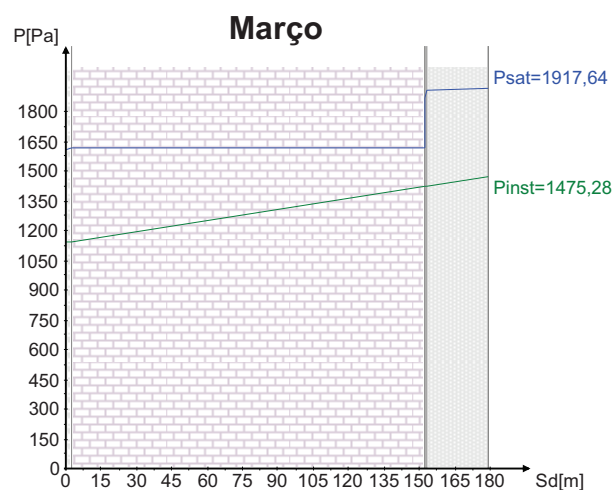
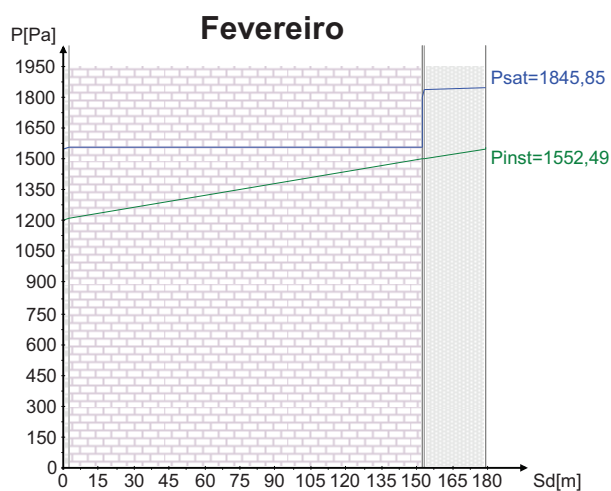
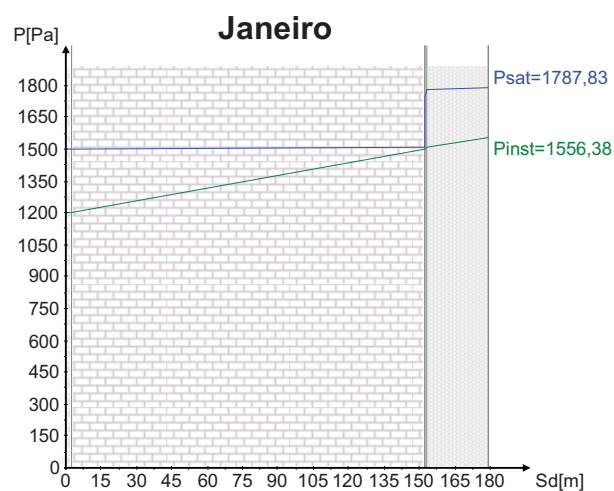
2. Camadas do Elemento Construtivo

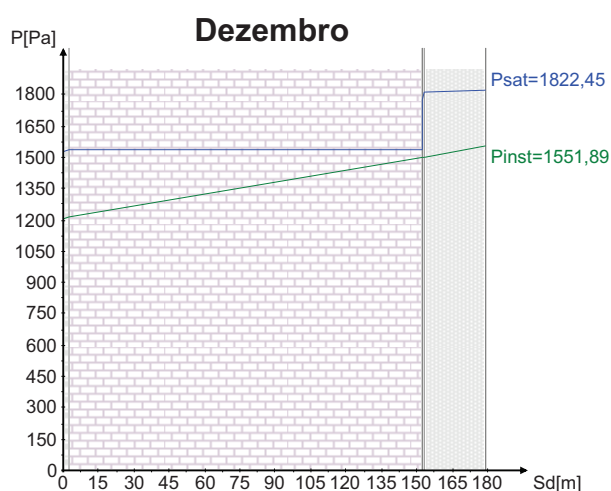
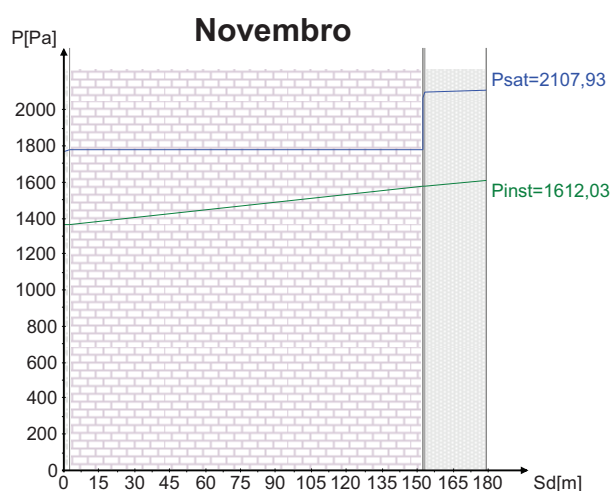
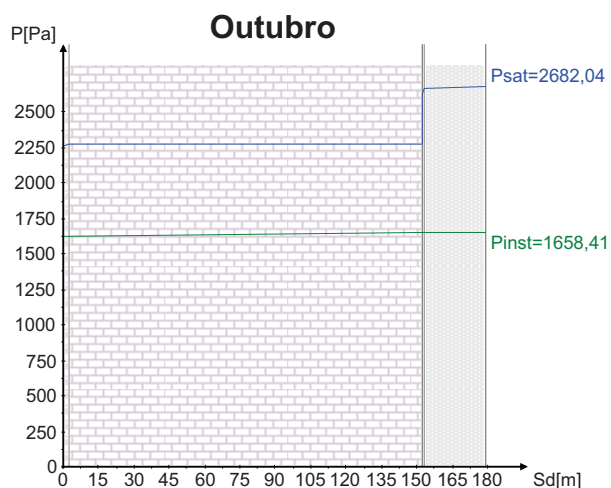
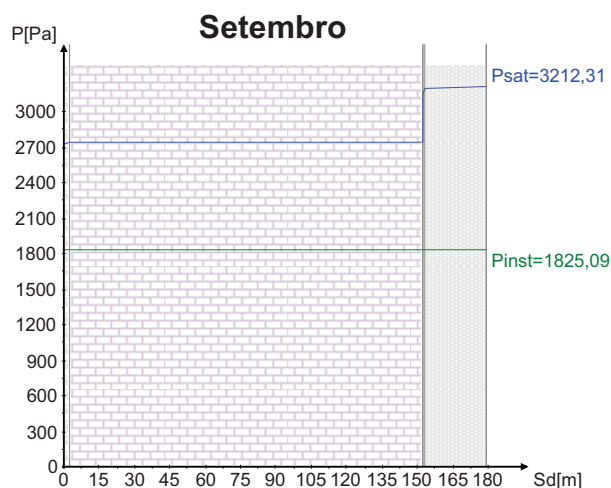
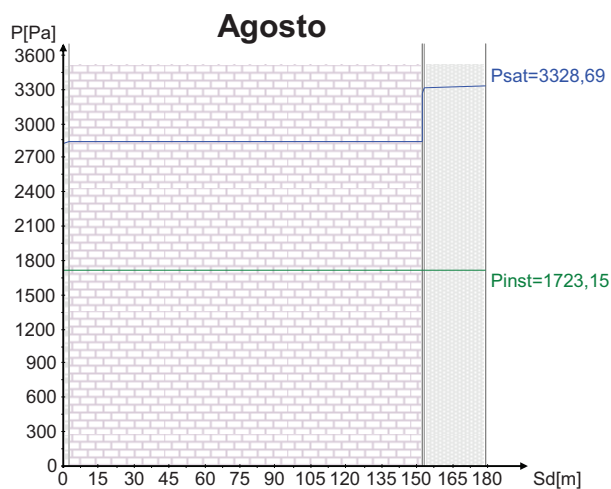
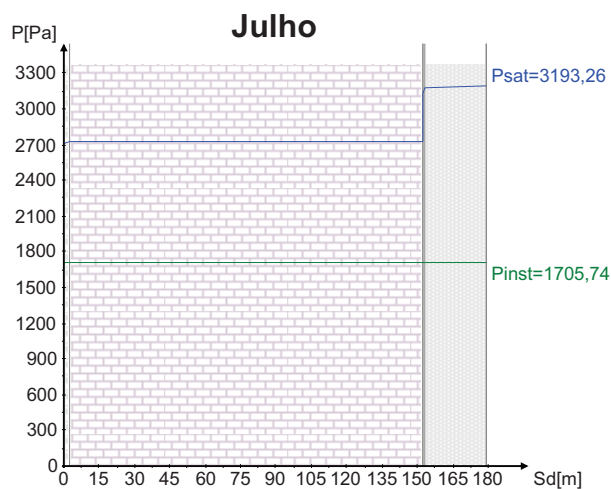
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Camada de godo	0,05	2	50	
Feltro betuminoso	0,003	0,23	50000	
Lã mineral	0,09	0,04	1	
Camada de forma	0,04	0,16	10	
Laje de betão	0,2	2,3	130	
Reboco	0,02	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]
Janeiro	744	13,0	80	1197,566	16,0	2,7	1556,381
Fevereiro	672	13,5	78	1206,367	16,5	2,6	1552,492
Março	744	14,1	71	1141,771	17,1	2,5	1475,277
Abril	720	15,0	69	1176,041	18,0	2	1443,678
Maiο	744	17,1	66	1286,310	20,1	1,2	1448,056
Junho	720	19,9	66	1532,866	22,9	0,04	1538,310
Julho	744	22,4	63	1705,737	25,4	0	1705,737
Agosto	744	23,1	61	1723,150	26,1	0	1723,150
Setembro	720	22,5	67	1825,089	25,5	0	1825,089
Outubro	744	19,5	72	1631,228	22,5	0,2	1658,408
Novembro	720	15,6	77	1363,953	18,6	1,85	1612,030
Dezembro	744	13,3	79	1206,003	16,3	2,6	1551,889

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise!

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Horizontal
Nº de camadas: 6







1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Ponta Delgada

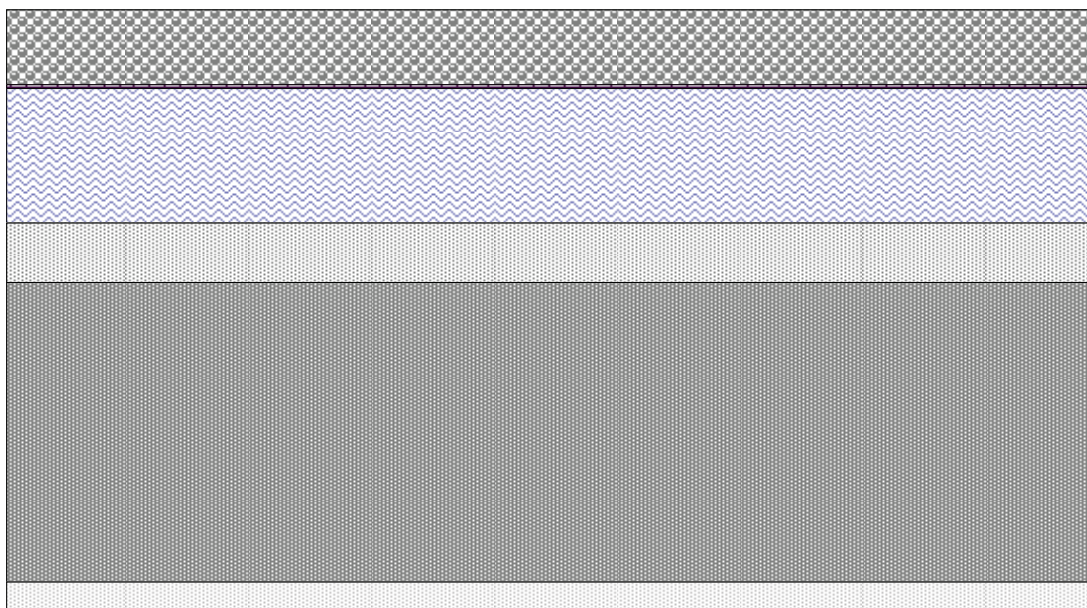
1.3 Condições Interiores

Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

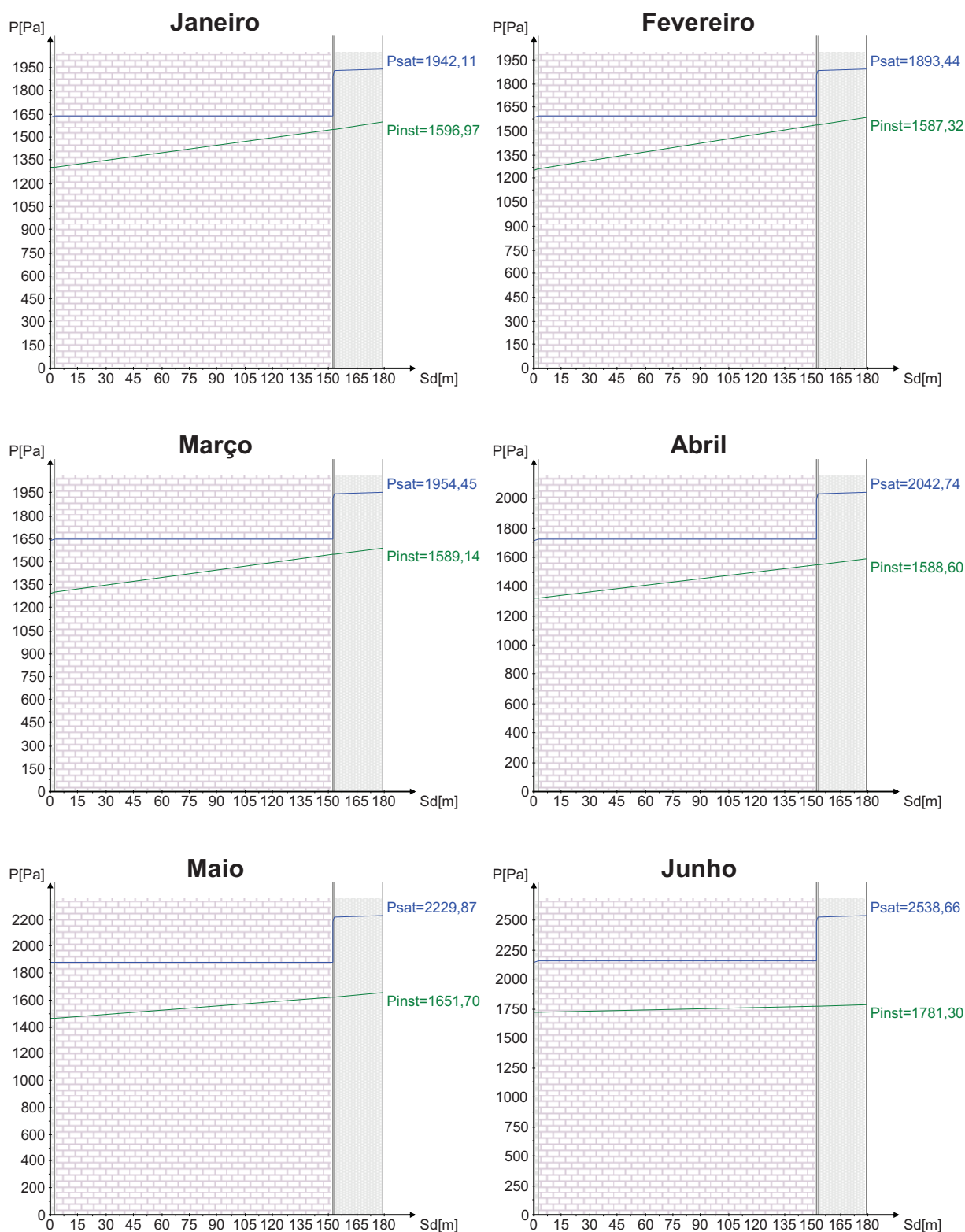
2. Camadas do Elemento Construtivo

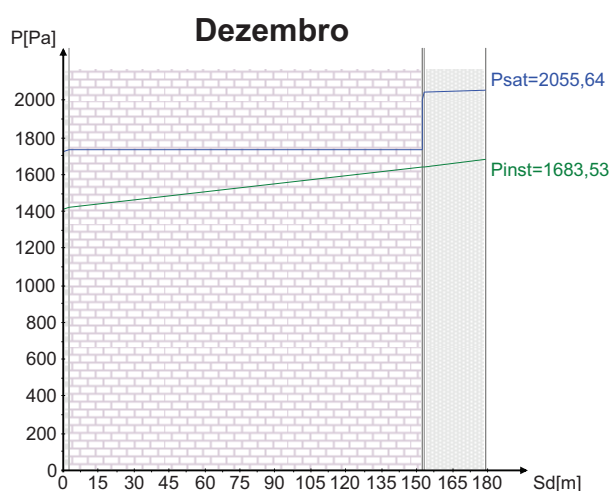
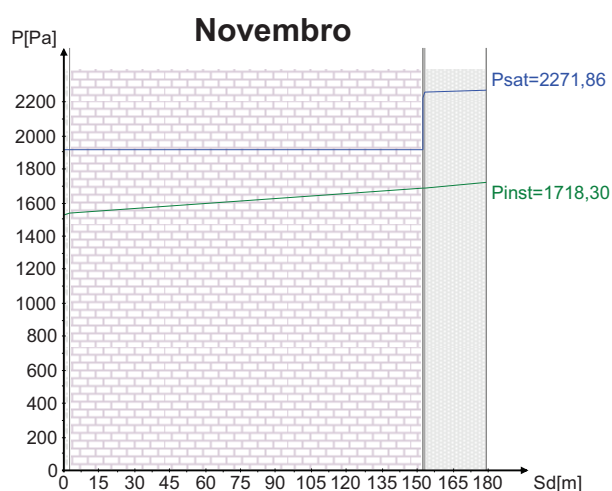
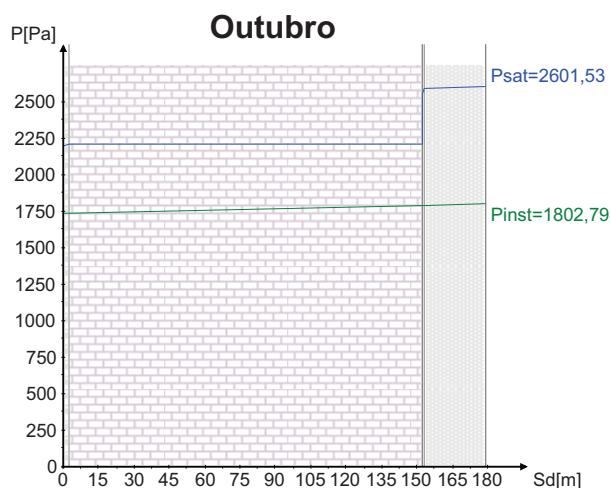
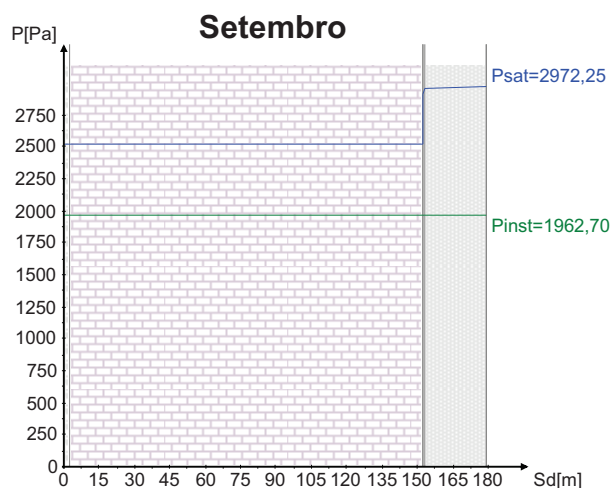
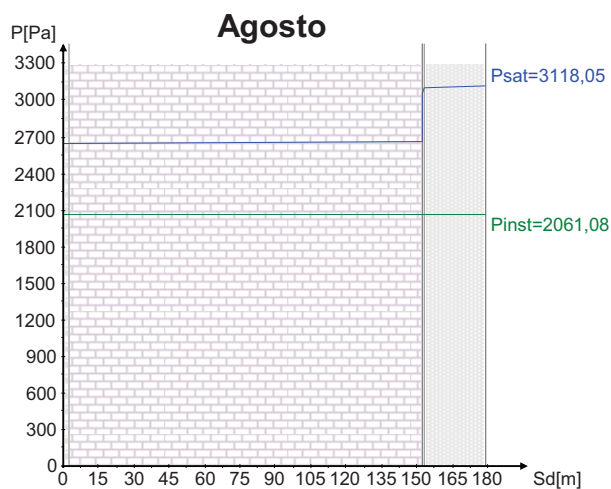
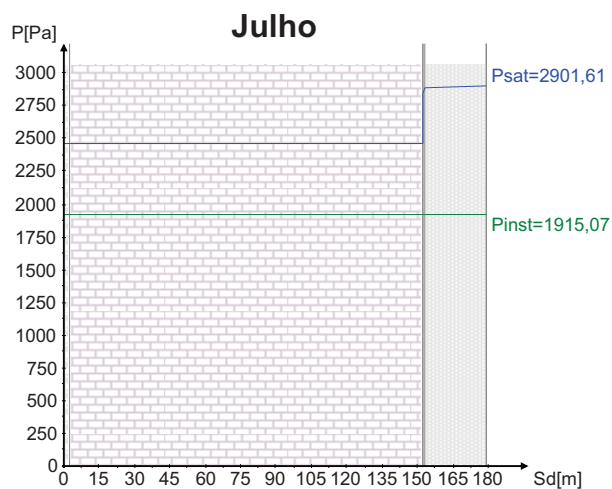
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Camada de godo	0,05	2	50	
Feltro betuminoso	0,003	0,23	50000	
Lã mineral	0,09	0,04	1	
Camada de forma	0,04	0,16	10	
Laje de betão	0,2	2,3	130	
Reboco	0,02	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]
Janeiro	744	14,3	80	1303,281	17,3	2,2	1596,969
Fevereiro	672	13,9	79	1254,040	16,9	2,5	1587,315
Março	744	14,4	79	1295,345	17,4	2,2	1589,135
Abril	720	15,1	77	1320,866	18,1	2	1588,595
Maiο	744	16,5	78	1463,383	19,5	1,4	1651,699
Junho	720	18,6	80	1713,556	21,6	0,5	1781,296
Julho	744	20,8	78	1915,065	23,8	0	1915,065
Agosto	744	22,0	78	2061,079	25,0	0	2061,079
Setembro	720	21,2	78	1962,698	24,2	0	1962,698
Outubro	744	19,0	79	1734,959	22,0	0,5	1802,793
Novembro	720	16,8	80	1529,792	19,8	1,4	1718,301
Dezembro	744	15,2	82	1415,711	18,2	2	1683,532

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise!

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Horizontal
Nº de camadas: 7








1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Bragança

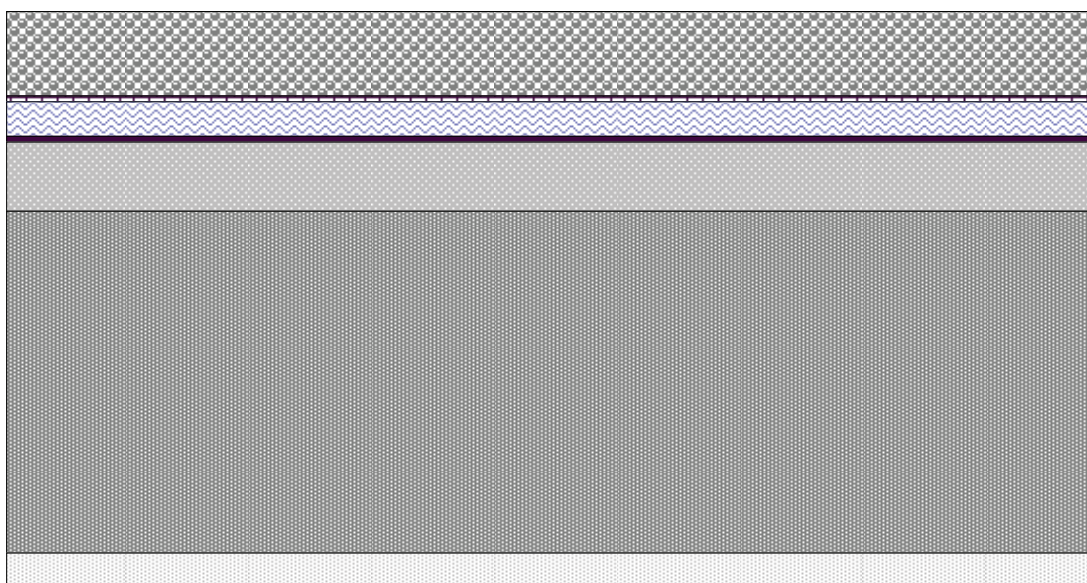
1.3 Condições Interiores

Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

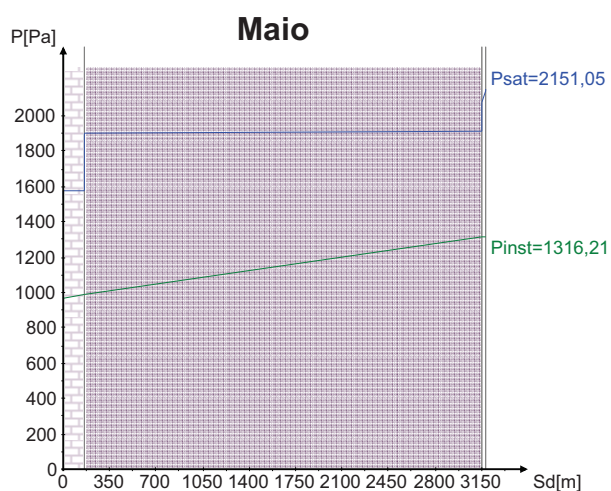
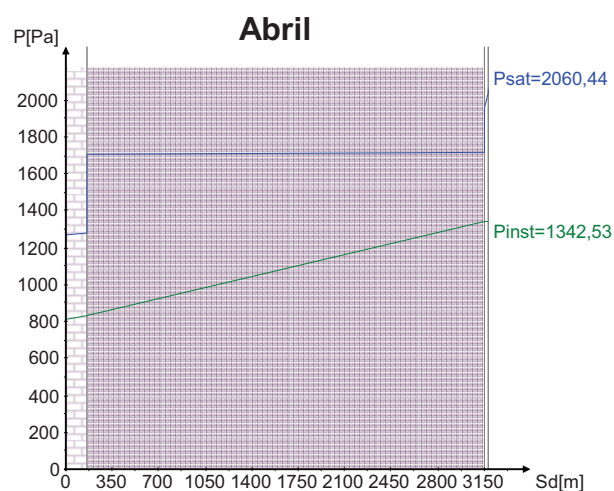
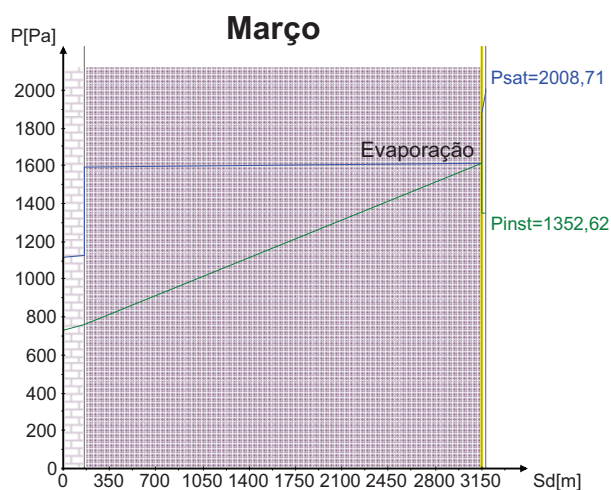
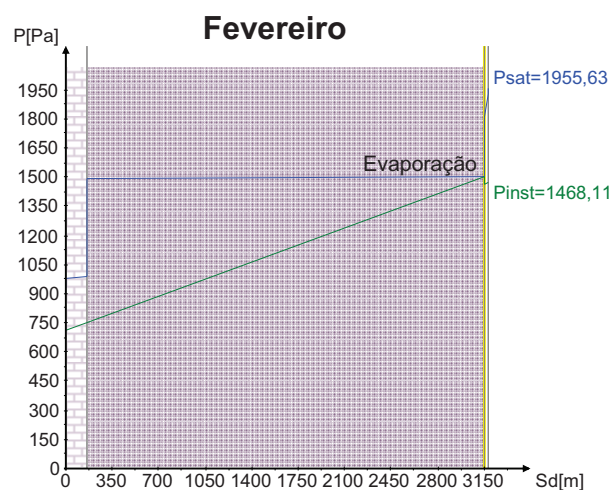
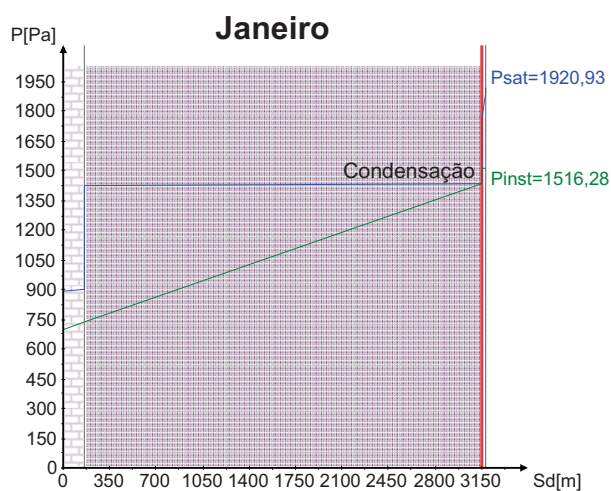
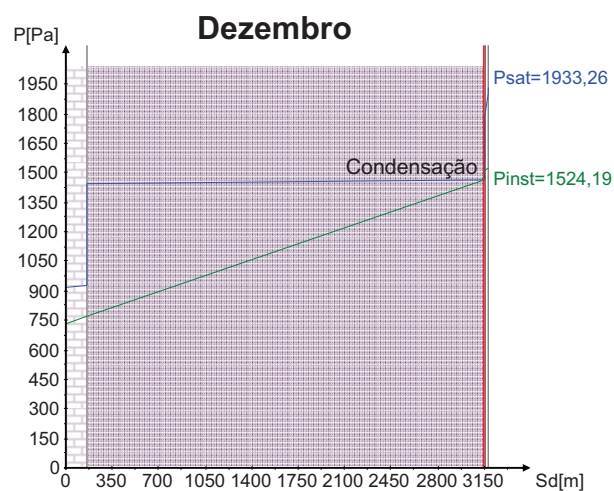
2. Camadas do Elemento Construtivo

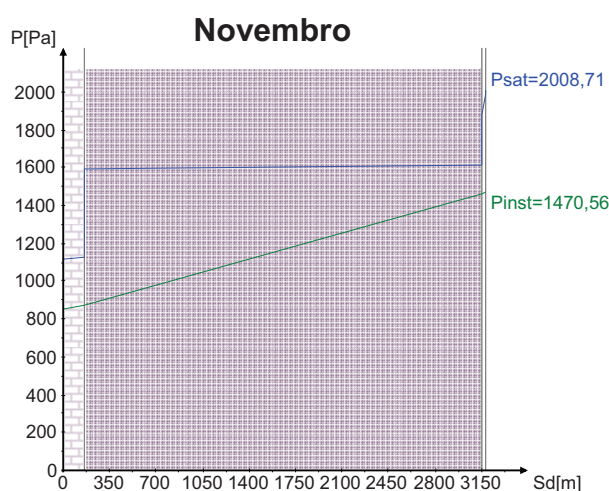
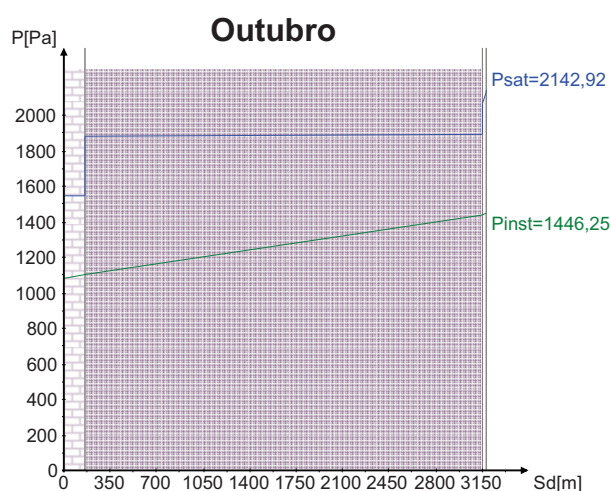
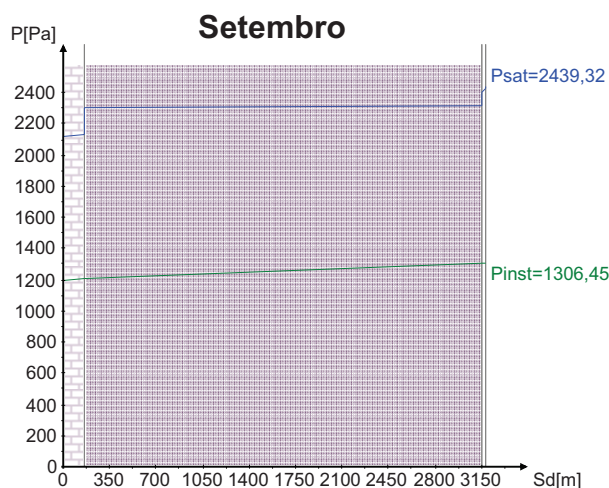
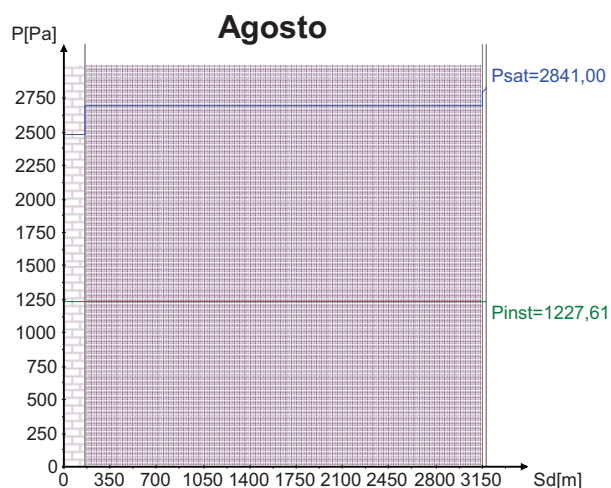
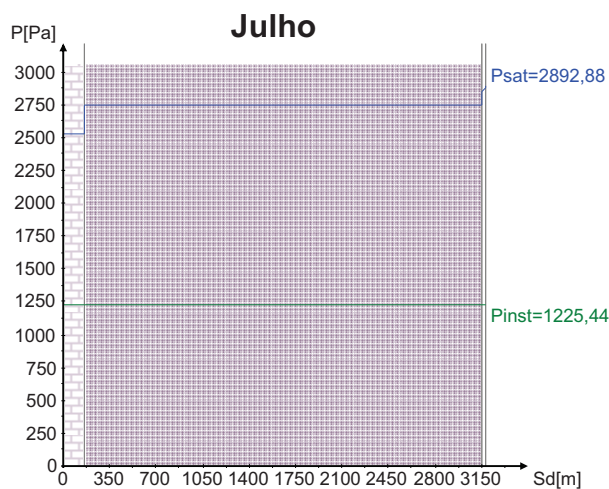
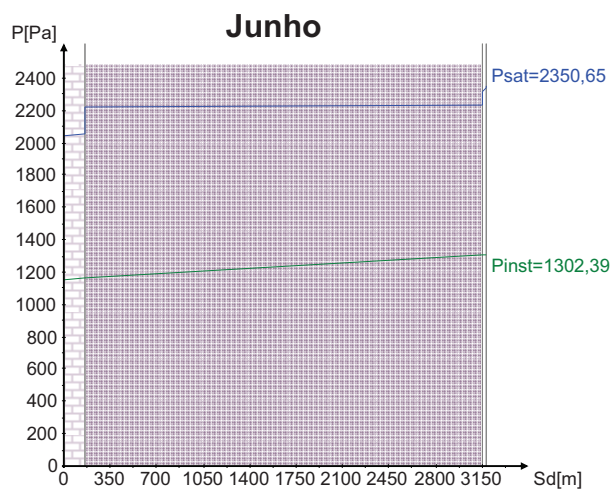
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Camada de godo	0,05	2	50	
Feltro betuminoso	0,003	0,23	50000	
Poliestireno extrudido	0,02	0,037	150	
Barreira pára-vapor	0,003	0,23	1000000	
Camada de forma	0,04	0,16	10	
Laje de betão	0,2	2,3	130	
Reboco	0,02	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	Δv [g/m³]	P_i [Pa]	$gc1$ [kg/(m²s)]	$Ma1$ [kg/m²]
Dezembro	744	5,0	84	732,366	20,0	6	1524,188	4,14E-10	0,0011
Janeiro	744	4,5	83	698,777	20,0	6,2	1516,277	5,29E-10	0,0025
Fevereiro	672	5,9	77	714,696	20,0	5,7	1468,112	-3,34E-10	0,0017
Março	744	8,0	68	729,101	20,0	4,7	1352,618	-1,99E-09	0
Abril	720	10,0	66	810,025	20,0	4	1342,526	0,00E+00	0
Maió	744	13,4	63	968,043	20,0	2,6	1316,211	0,00E+00	0
Junho	720	17,7	57	1153,817	20,7	1,1	1302,390	0,00E+00	0
Julho	744	21,1	49	1225,436	24,1	0	1225,436	0,00E+00	0
Agosto	744	20,8	50	1227,606	23,8	0	1227,606	0,00E+00	0
Setembro	720	18,3	57	1198,175	21,3	0,8	1306,449	0,00E+00	0
Outubro	744	13,1	72	1084,880	20,0	2,7	1446,251	0,00E+00	0
Novembro	720	8,0	79	847,043	20,0	4,7	1470,561	0,00E+00	0

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

ANEXO A5

RESULTADOS OBTIDOS DO PROGRAMA CONDENSE 13788 – COBERTURA METÁLICA

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim

Tipo de elemento: Horizontal

Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar

Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$





Localização: Bragança

1.3 Condições Interiores

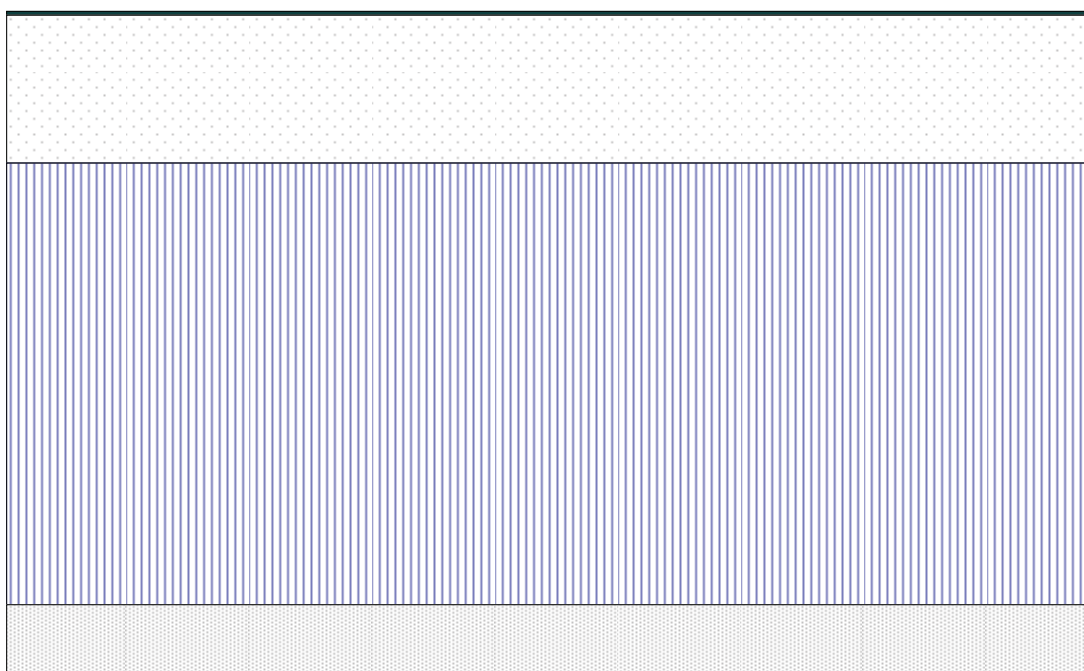
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$

Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

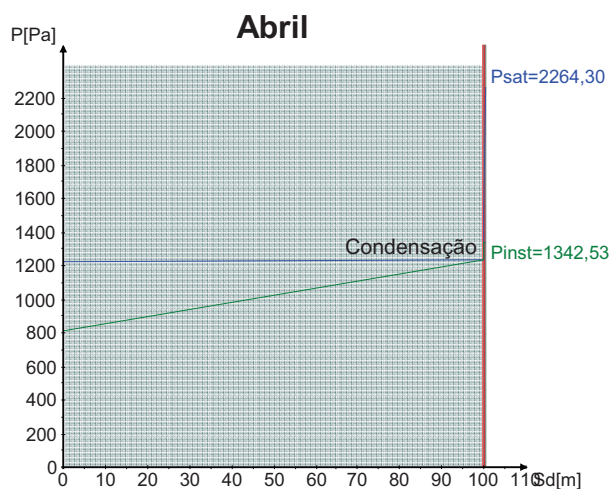
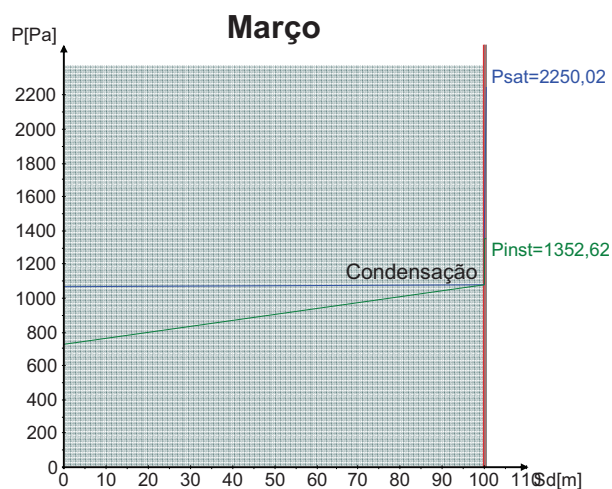
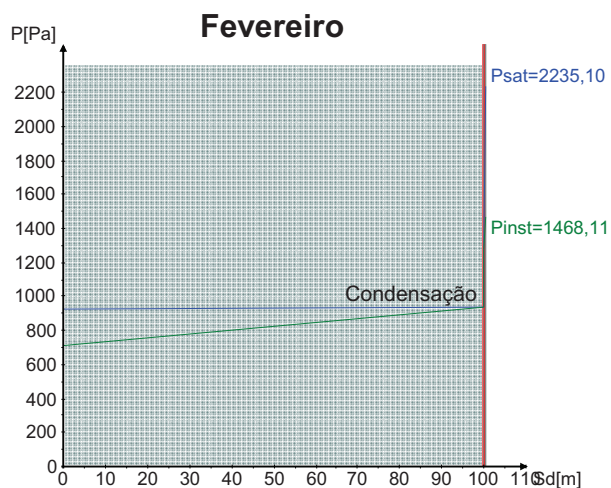
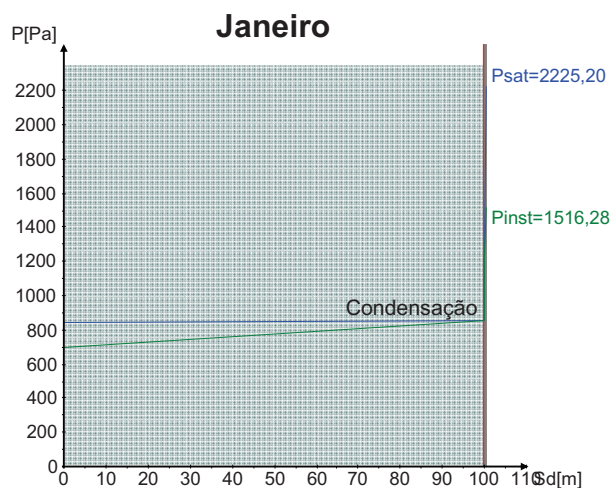
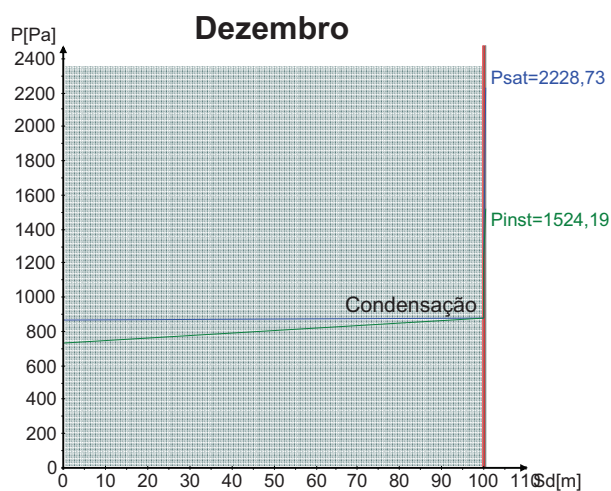
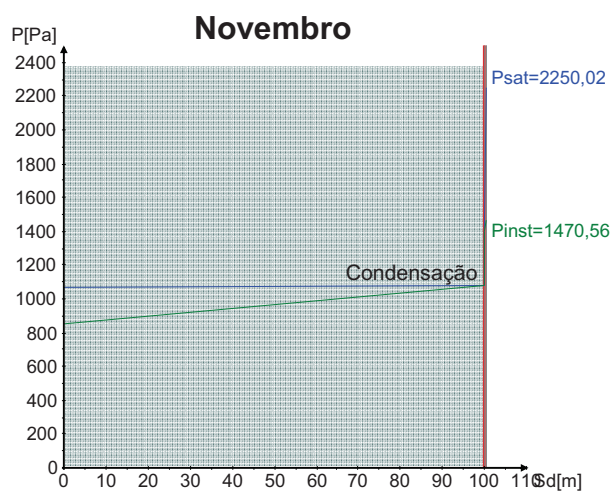
2. Camadas do Elemento Construtivo

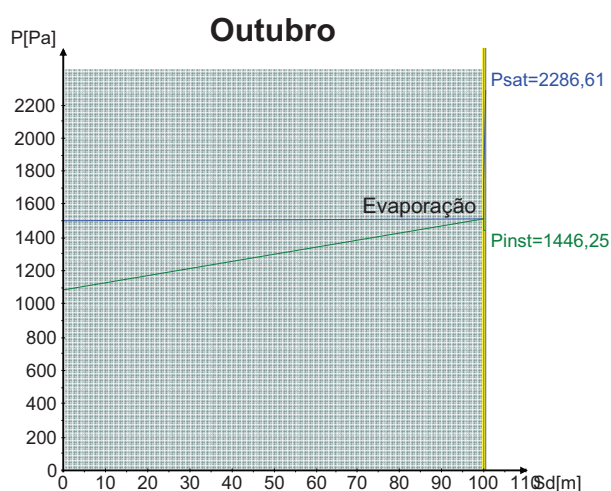
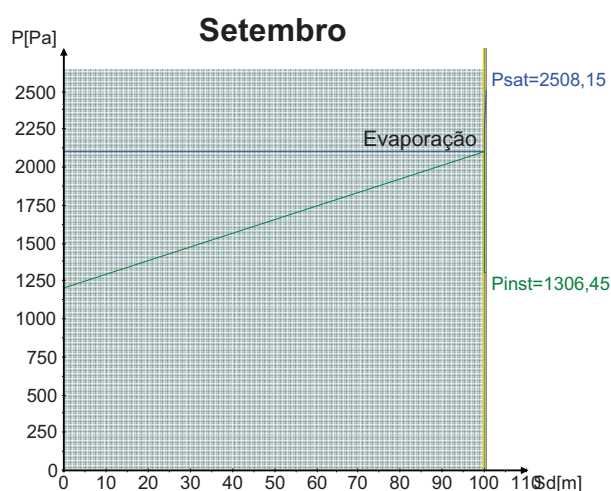
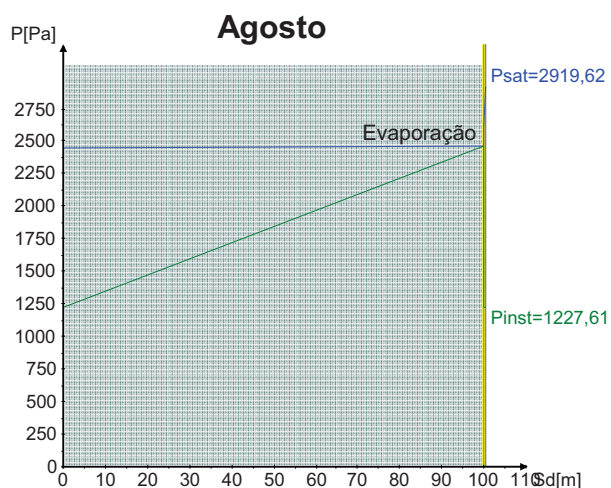
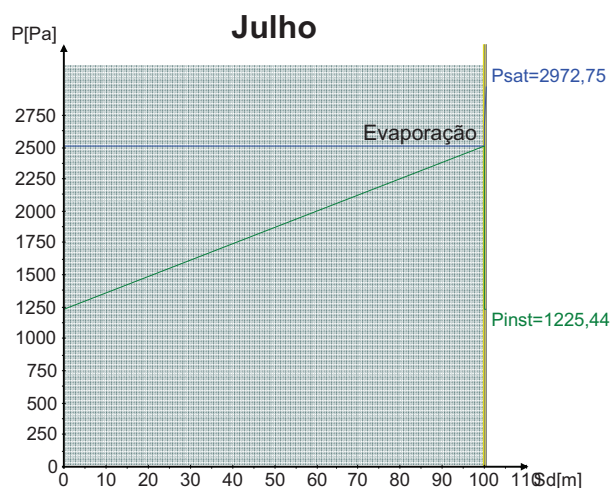
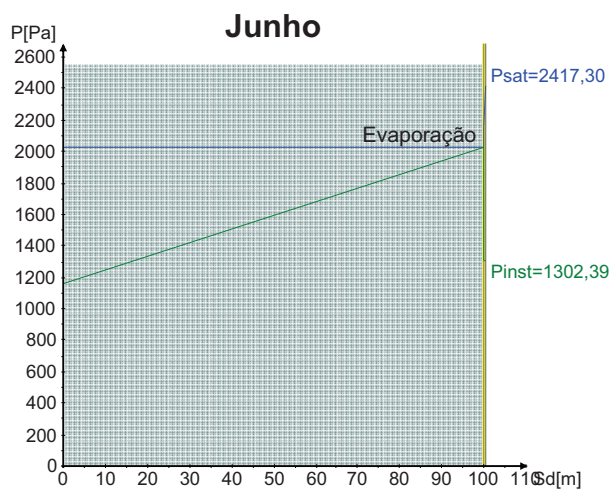
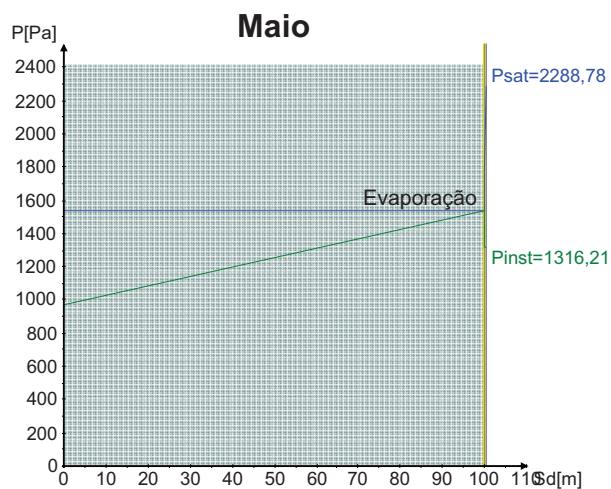
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Zinco	0,001	110	100000	
Ar	0,04	0,025	1	
Lã mineral	0,12	0,04	1	
Reboco	0,02	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	Δv [g/m³]	P_i [Pa]	$gc1$ [kg/(m²s)]	$Ma1$ [kg/m²]
Novembro	720	8,0	79	847,043	20,0	4,7	1470,561	1,62E-06	4,1874
Dezembro	744	5,0	84	732,366	20,0	6	1524,188	1,74E-06	8,8580
Janeiro	744	4,5	83	698,777	20,0	6,2	1516,277	1,76E-06	13,5663
Fevereiro	672	5,9	77	714,696	20,0	5,7	1468,112	1,71E-06	17,7113
Março	744	8,0	68	729,101	20,0	4,7	1352,618	1,51E-07	18,1160
Abril	720	10,0	66	810,025	20,0	4	1342,526	5,94E-08	18,2700
Maio	744	13,4	63	968,043	20,0	2,6	1316,211	-1,27E-07	17,9310
Junho	720	17,7	57	1153,817	20,7	1,1	1302,390	-4,05E-07	16,8825
Julho	744	21,1	49	1225,436	24,1	0	1225,436	-7,13E-07	14,9722
Agosto	744	20,8	50	1227,606	23,8	0	1227,606	-6,87E-07	13,1334
Setembro	720	18,3	57	1198,175	21,3	0,8	1306,449	-4,46E-07	11,9784
Outubro	744	13,1	72	1084,880	20,0	2,7	1446,251	-3,76E-08	11,8778

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise, não se verificando a possibilidade da sua secagem por completo durante os meses de verão.
Deverão ser alteradas as características do elemento em estudo para que seja possível utilizá-lo sob as condições climáticas escolhidas.

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim

Tipo de elemento: Horizontal

Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar

Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$


Localização: Porto

1.3 Condições Interiores

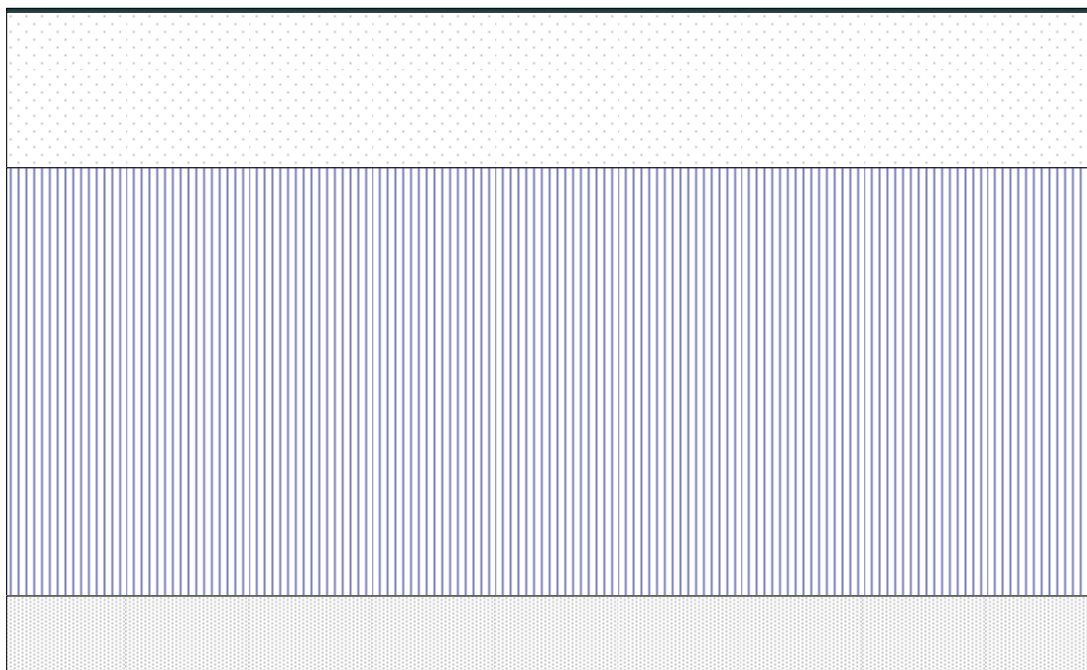
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$

Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

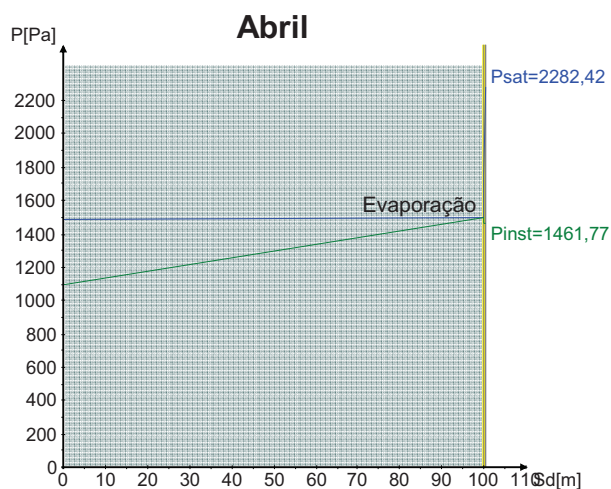
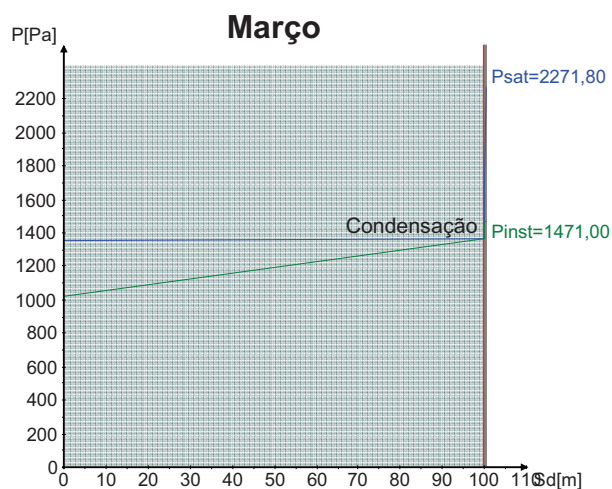
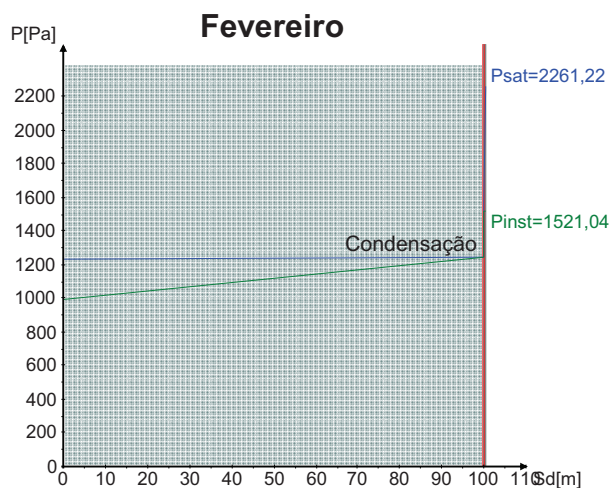
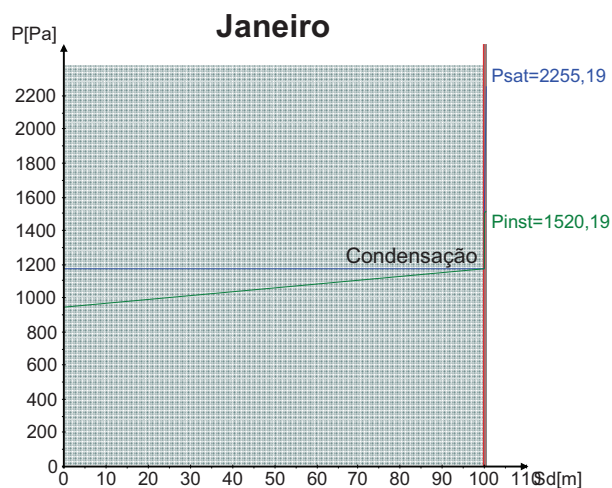
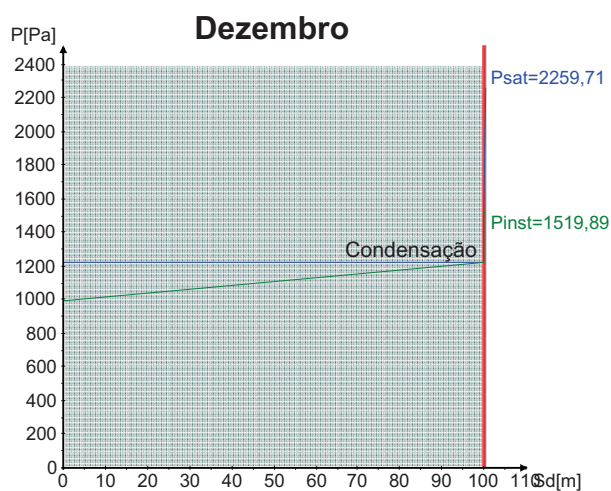
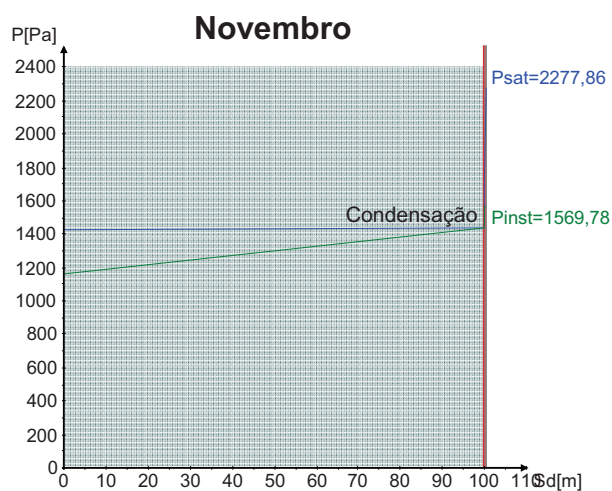
2. Camadas do Elemento Construtivo

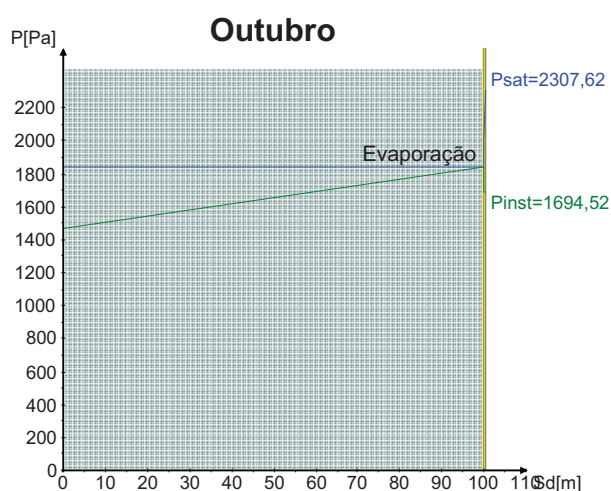
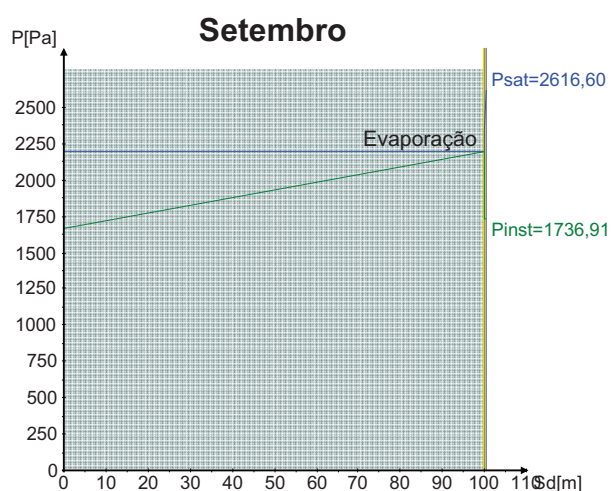
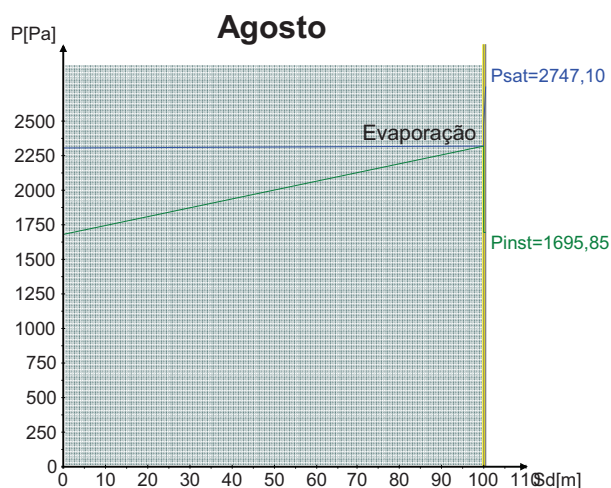
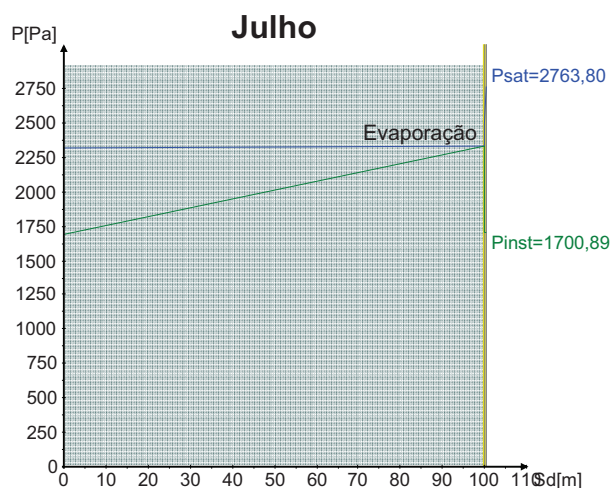
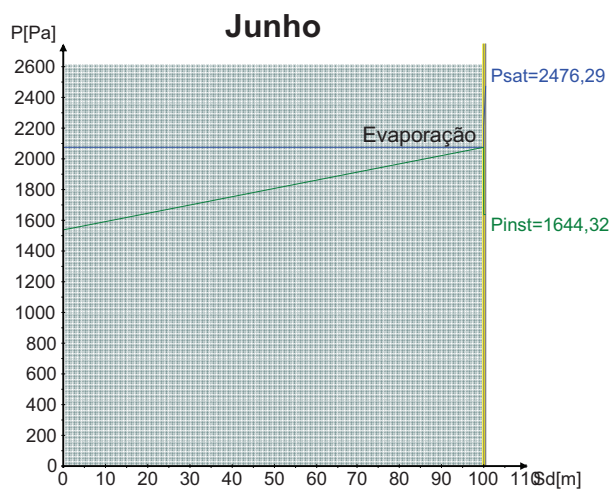
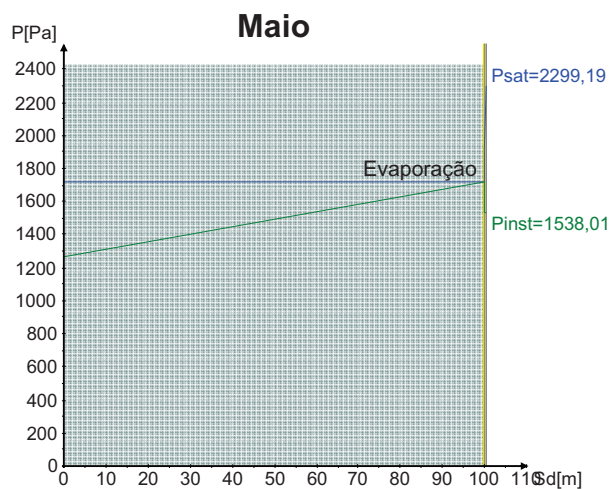
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Zinco	0,001	110	100000	
Ar	0,04	0,025	1	
Lã mineral	0,11	0,04	1	
Reboco	0,02	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	Δv [g/m³]	P_i [Pa]	$gc1$ [kg/(m²s)]	$Ma1$ [kg/m²]
Novembro	720	12,3	81	1158,120	20,0	3,08	1569,783	7,59E-08	0,1967
Dezembro	744	9,9	81	987,479	20,0	4	1519,888	1,67E-07	0,6449
Janeiro	744	9,3	81	948,443	20,0	4,3	1520,186	1,63E-06	4,9990
Fevereiro	672	10,1	80	988,446	20,0	4	1521,040	1,59E-07	5,3827
Março	744	11,5	75	1017,192	20,0	3,4	1470,997	6,11E-08	5,5464
Abril	720	12,9	74	1100,524	20,0	2,7	1461,771	-1,87E-08	5,4979
Maio	744	15,1	74	1269,404	20,0	2	1538,011	-1,05E-07	5,2169
Junho	720	18,1	74	1536,118	21,1	0,8	1644,319	-2,50E-07	4,5700
Julho	744	19,9	73	1695,443	22,9	0,04	1700,886	-3,59E-07	3,6095
Agosto	744	19,8	73	1684,969	22,8	0,08	1695,851	-3,53E-07	2,6633
Setembro	720	19,0	76	1669,075	22,0	0,5	1736,908	-2,66E-07	1,9751
Outubro	744	16,2	80	1472,498	20,0	1,65	1694,518	-8,64E-08	1,7436

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise, não se verificando a possibilidade da sua secagem por completo durante os meses de verão.
Deverão ser alteradas as características do elemento em estudo para que seja possível utilizá-lo sob as condições climáticas escolhidas.

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim

Tipo de elemento: Horizontal

Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar

Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$


Localização: Portalegre

1.3 Condições Interiores

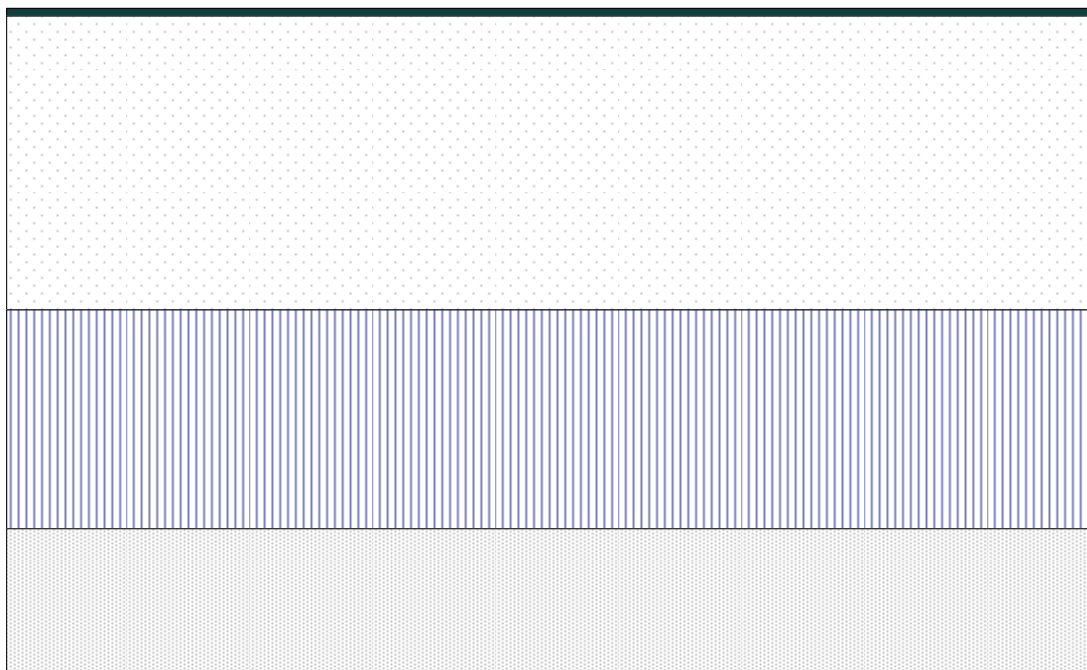
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$

Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

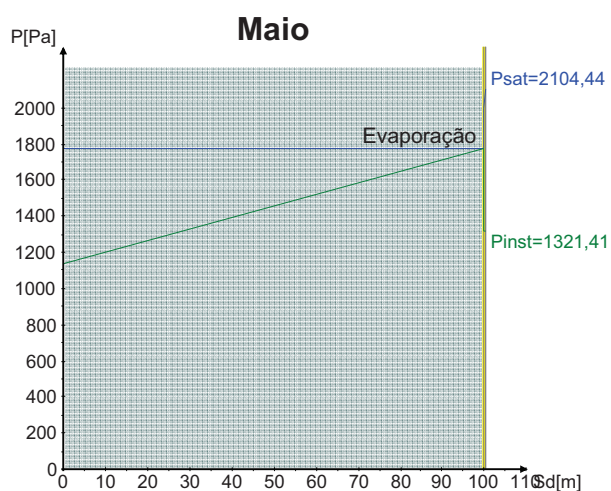
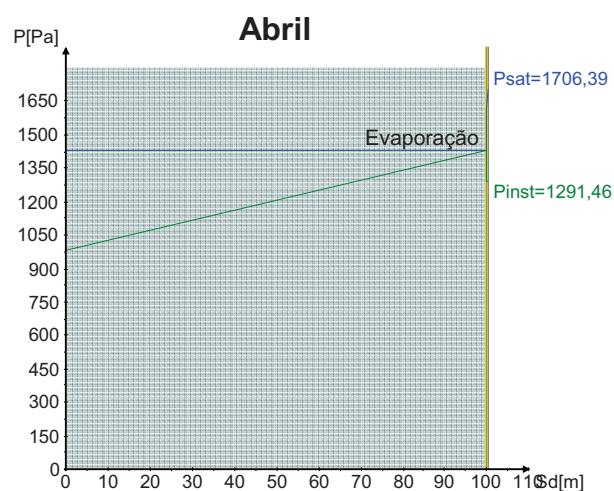
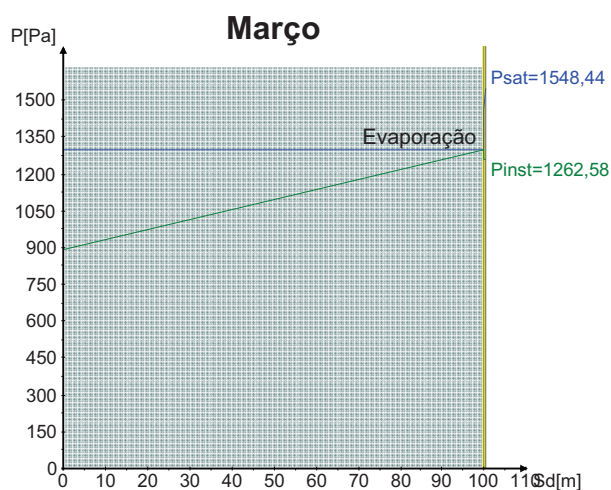
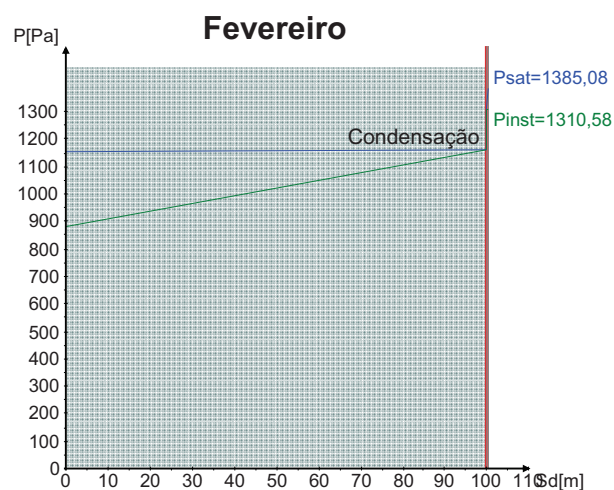
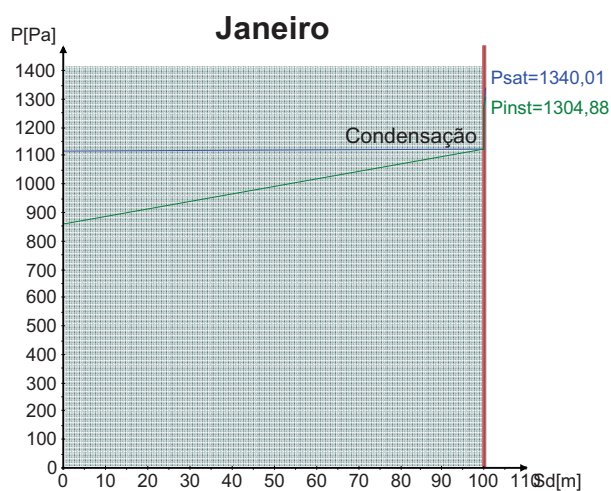
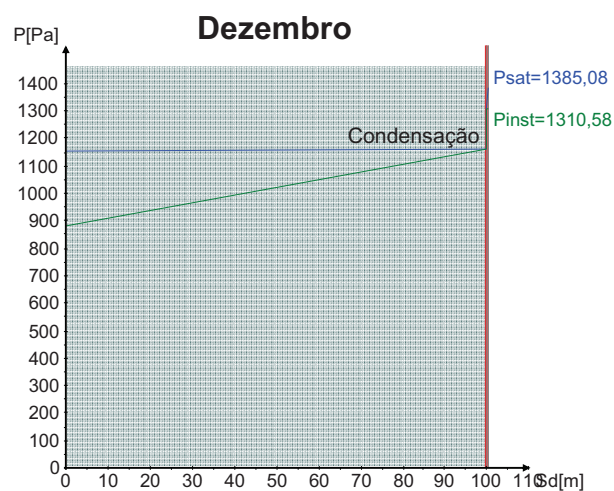
2. Camadas do Elemento Construtivo

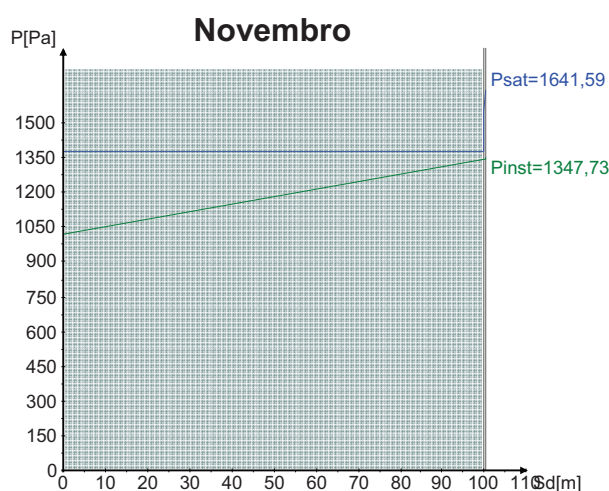
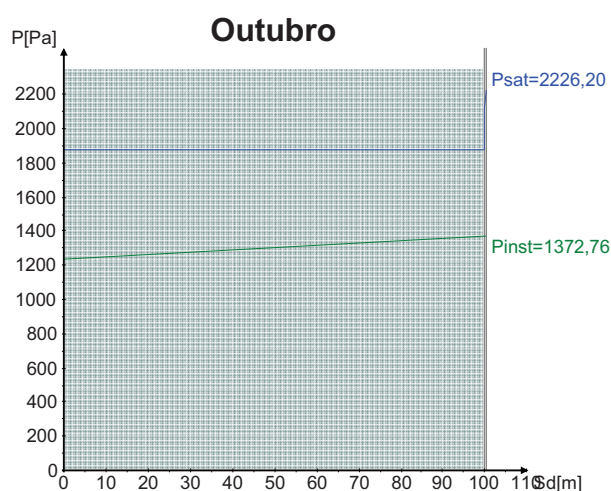
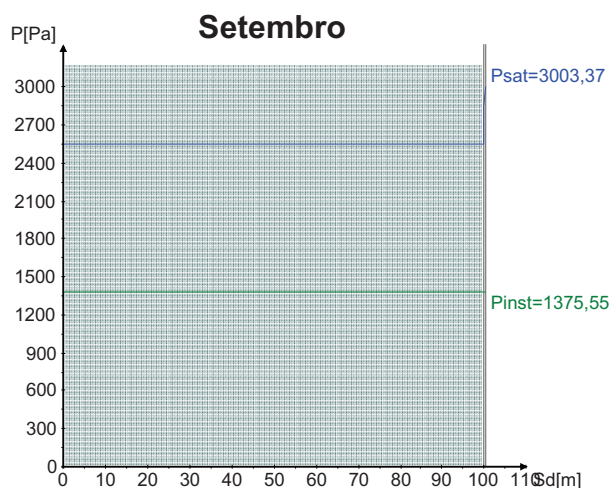
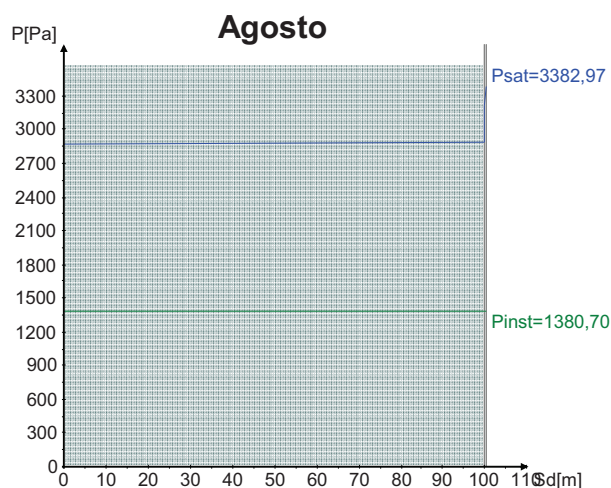
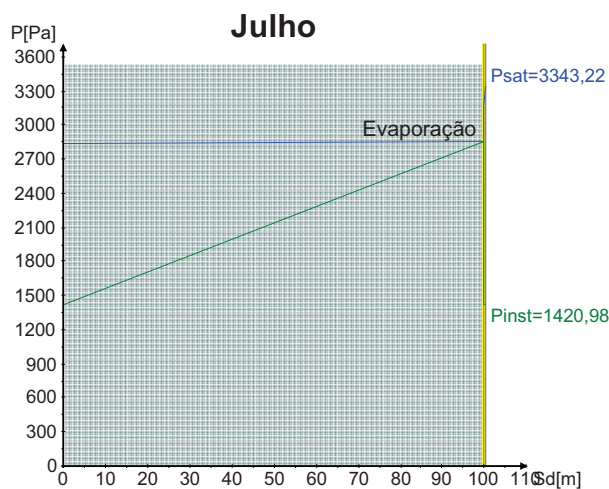
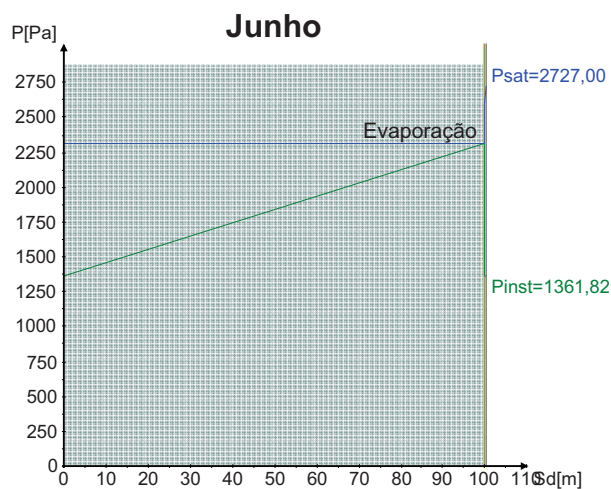
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Zinco	0,001	110	100000	
Ar	0,04	0,025	1	
Lã mineral	0,03	0,04	1	
Reboco	0,02	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]	gc1 [kg/(m²s)]	Ma1 [kg/m²]
Dezembro	744	9,1	76	877,974	12,1	3,3	1310,579	7,44E-07	1,9922
Janeiro	744	8,6	77	859,948	11,6	3,4	1304,877	7,22E-07	3,9265
Fevereiro	672	9,1	76	877,974	12,1	3,3	1310,579	7,44E-07	5,7259
Março	744	10,8	69	893,323	13,8	2,8	1262,581	-2,75E-08	5,6523
Abril	720	12,3	69	986,547	15,3	2,3	1291,460	-1,07E-07	5,3763
Maió	744	15,6	64	1133,675	18,6	1,4	1321,409	-3,38E-07	4,4700
Junho	720	19,8	59	1361,824	22,8	0	1361,824	-7,08E-07	2,6357
Julho	744	23,2	50	1420,977	26,2	0	1420,977	-1,06E-06	0
Agosto	744	23,4	48	1380,700	26,4	0	1380,700	0,00E+00	0
Setembro	720	21,4	54	1375,546	24,4	0	1375,546	0,00E+00	0
Outubro	744	16,5	66	1238,247	19,5	1	1372,758	0,00E+00	0
Novembro	720	11,7	74	1016,996	14,7	2,5	1347,730	0,00E+00	0

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim

Tipo de elemento: Horizontal

Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar

Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$





Localização: Portalegre

1.3 Condições Interiores

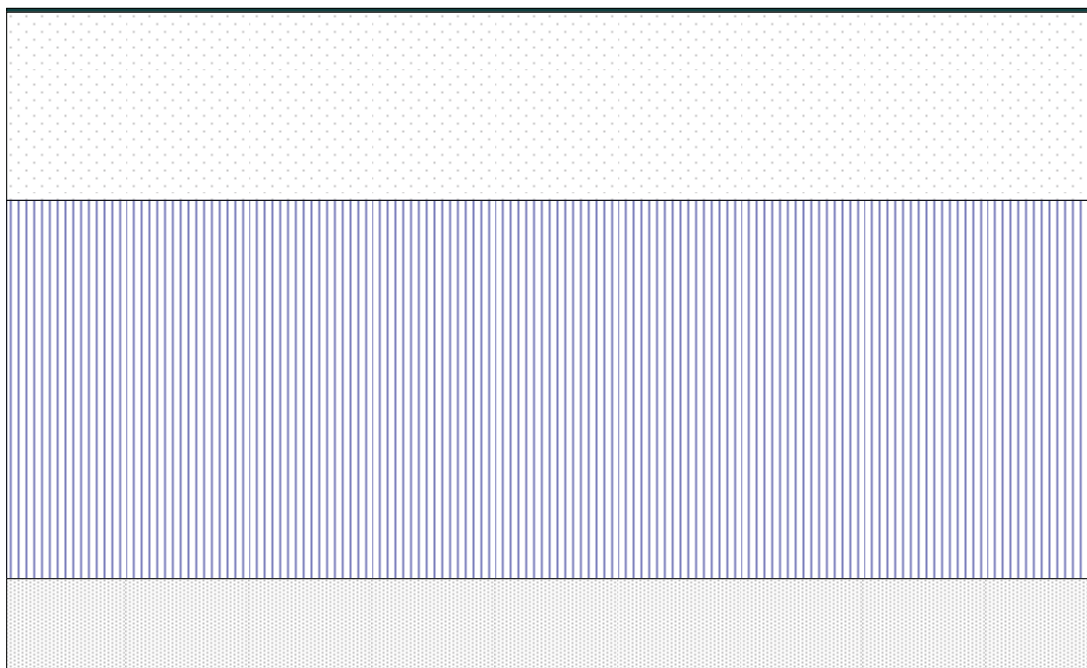
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$

Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

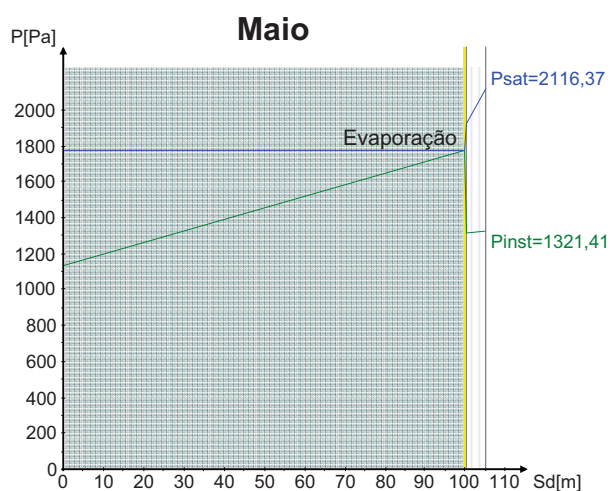
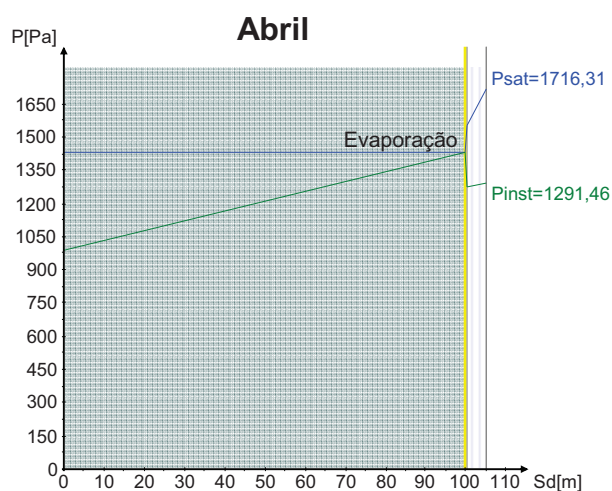
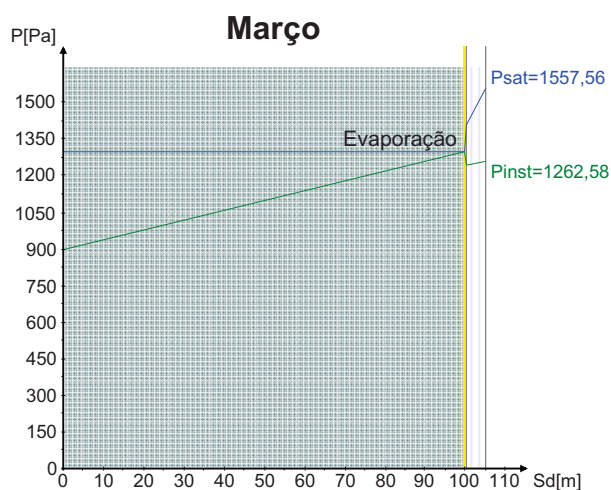
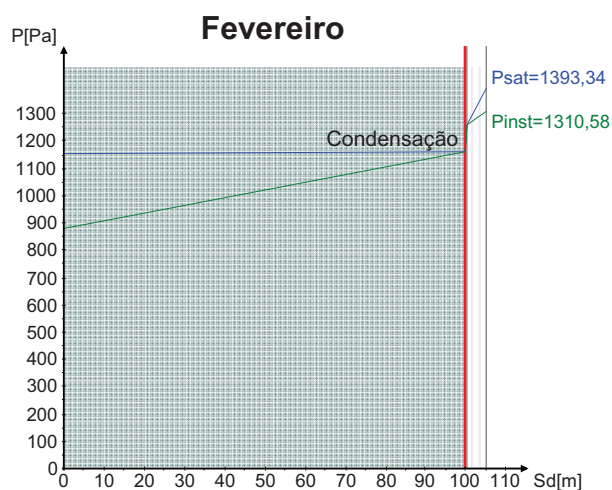
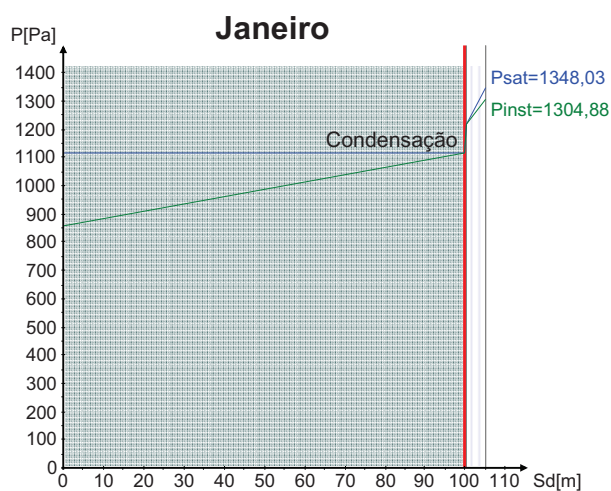
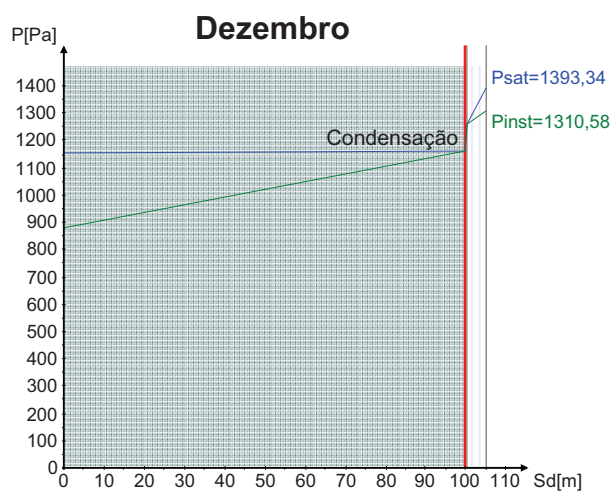
2. Camadas do Elemento Construtivo

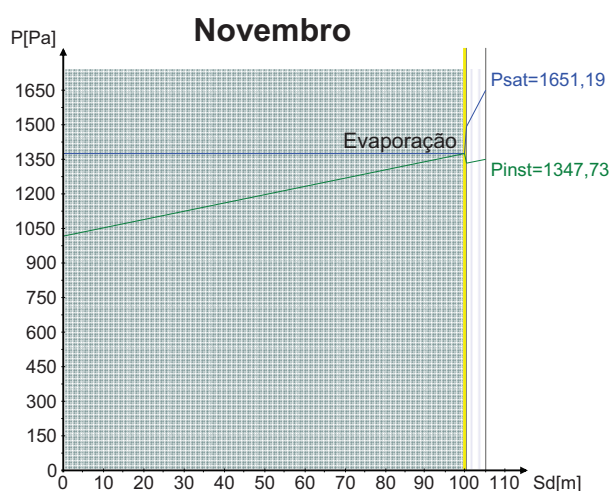
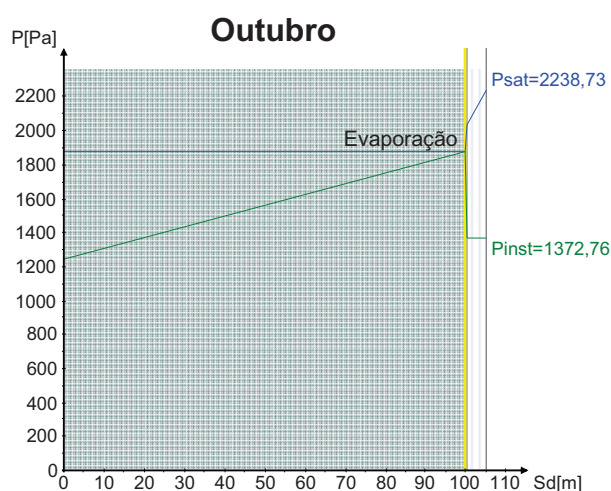
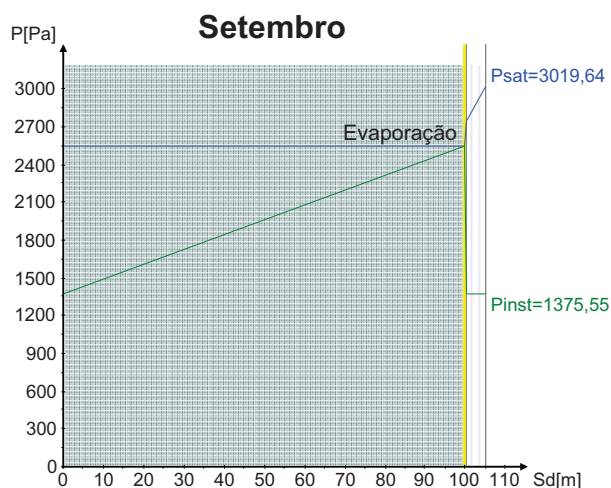
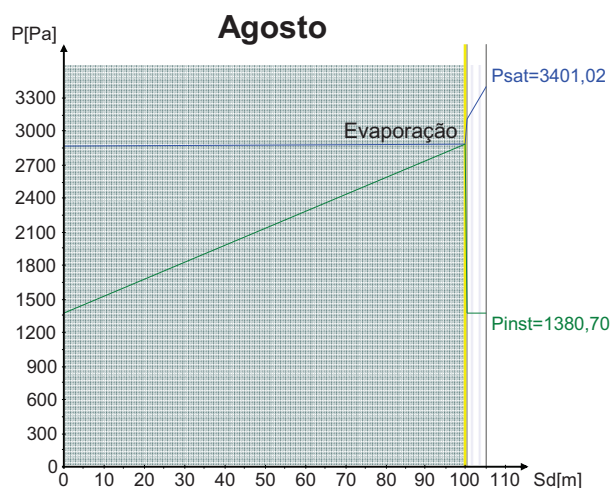
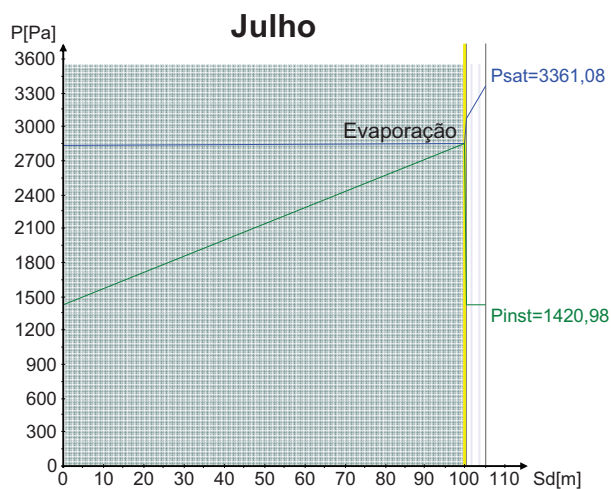
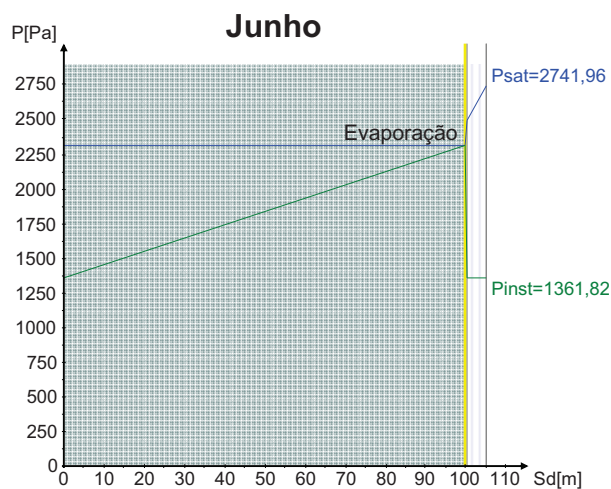
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Zinco	0,001	110	100000	
Ar	0,04	0,025	1	
Poliestireno expandido	0,08	0,04	60	
Reboco	0,02	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	Δv [g/m³]	P_i [Pa]	$gc1$ [kg/(m²s)]	$Ma1$ [kg/m²]
Dezembro	744	9,1	76	877,974	12,1	3,3	1310,579	4,97E-07	1,3305
Janeiro	744	8,6	77	859,948	11,6	3,4	1304,877	4,82E-07	2,6223
Fevereiro	672	9,1	76	877,974	12,1	3,3	1310,579	4,97E-07	3,8241
Março	744	10,8	69	893,323	13,8	2,8	1262,581	-2,19E-09	3,8182
Abril	720	12,3	69	986,547	15,3	2,3	1291,460	-6,50E-09	3,8014
Mai	744	15,6	64	1133,675	18,6	1,4	1321,409	-1,93E-08	3,7498
Junho	720	19,8	59	1361,824	22,8	0	1361,824	-3,96E-08	3,6471
Julho	744	23,2	50	1420,977	26,2	0	1420,977	-5,94E-08	3,4879
Agosto	744	23,4	48	1380,700	26,4	0	1380,700	-6,26E-08	3,3203
Setembro	720	21,4	54	1375,546	24,4	0	1375,546	-4,90E-08	3,1932
Outubro	744	16,5	66	1238,247	19,5	1	1372,758	-2,14E-08	3,1359
Novembro	720	11,7	74	1016,996	14,7	2,5	1347,730	-1,89E-09	3,1310

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise, não se verificando a possibilidade da sua secagem por completo durante os meses de verão.
Deverão ser alteradas as características do elemento em estudo para que seja possível utilizá-lo sob as condições climáticas escolhidas.

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim

Tipo de elemento: Horizontal

Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar

Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$


Localização: Coimbra

1.3 Condições Interiores

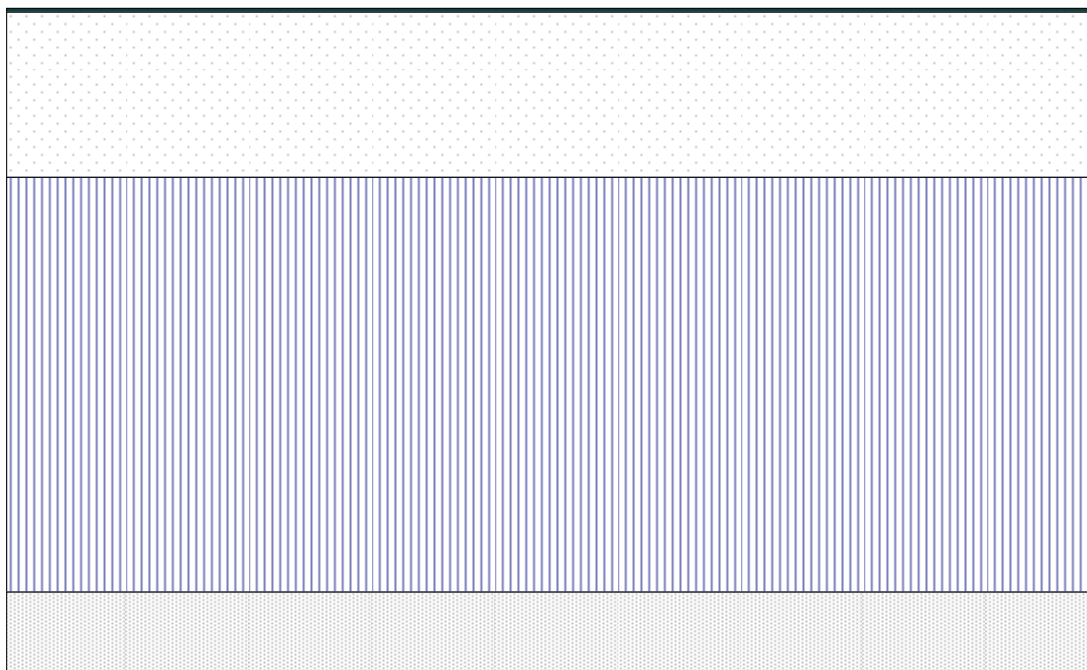
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$

Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

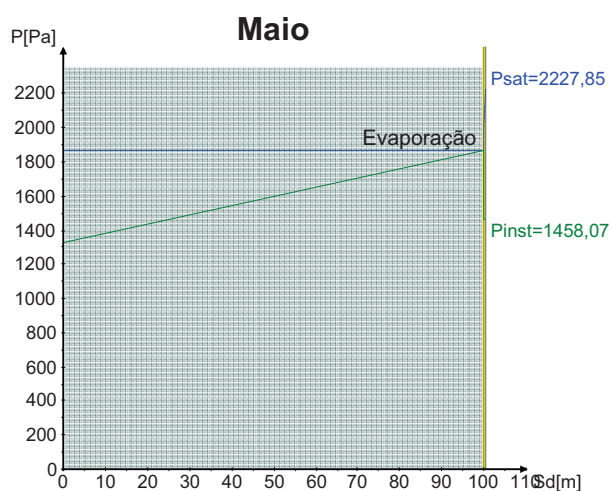
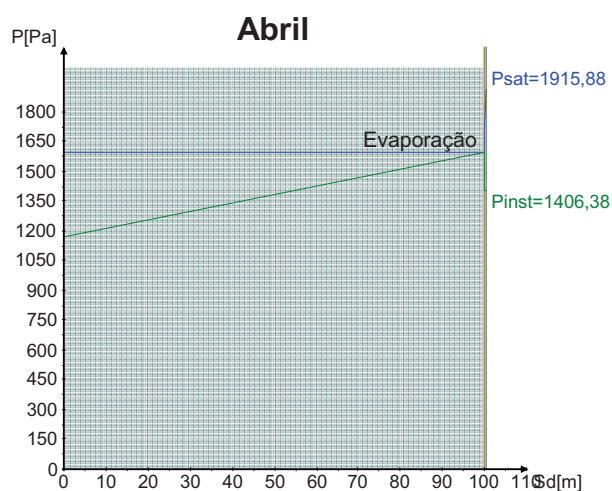
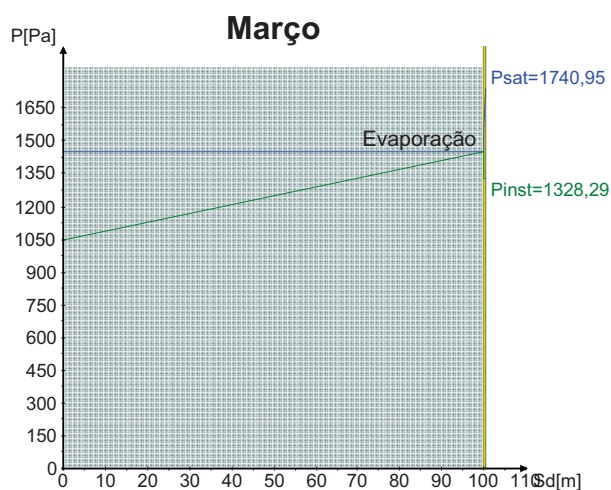
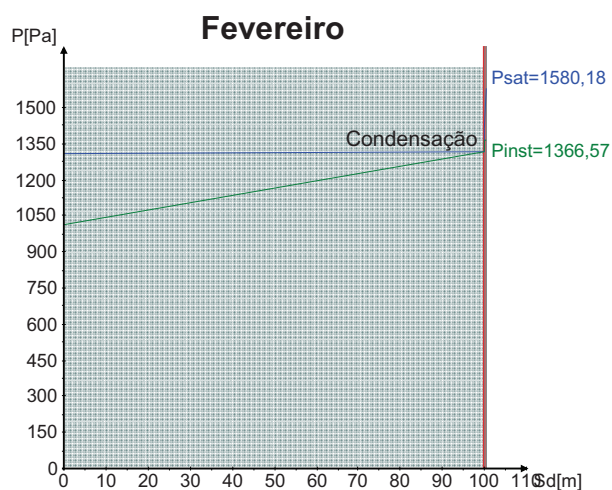
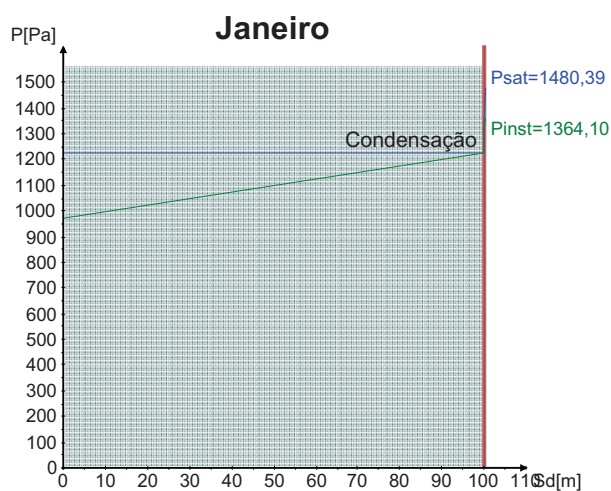
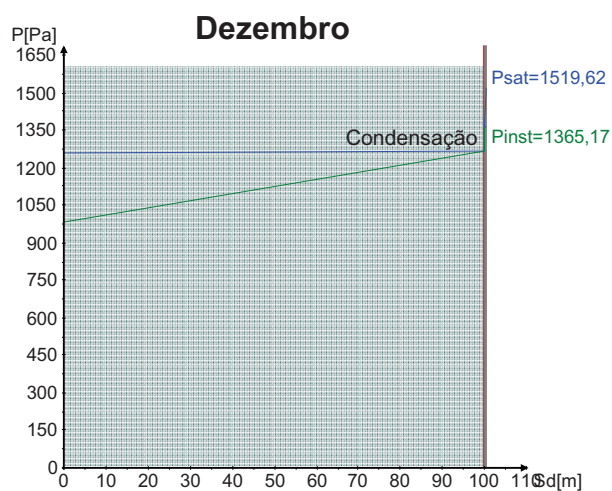
2. Camadas do Elemento Construtivo

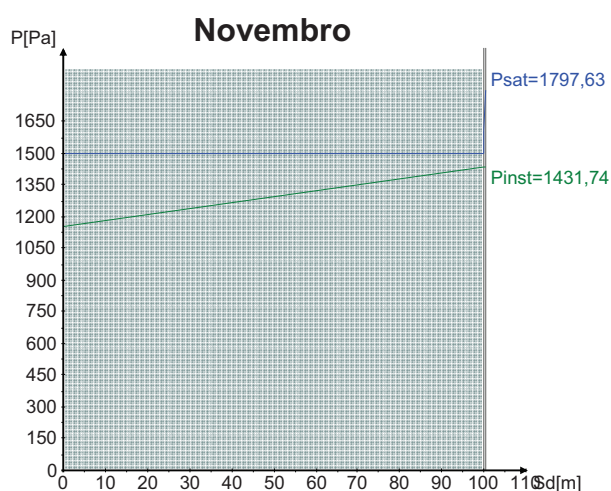
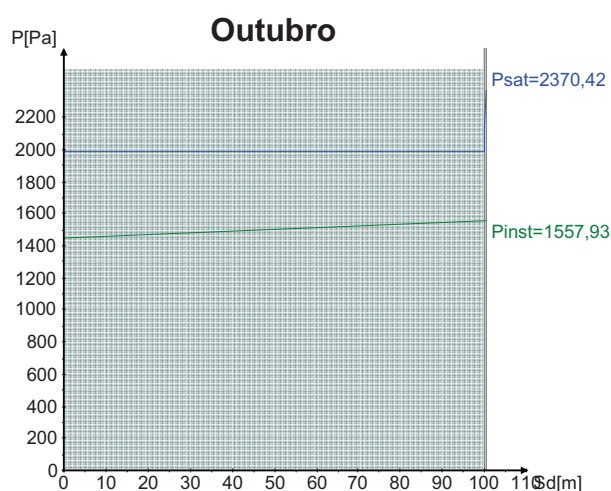
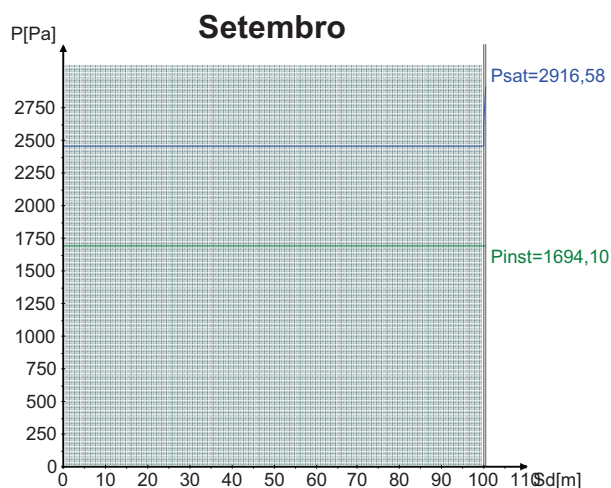
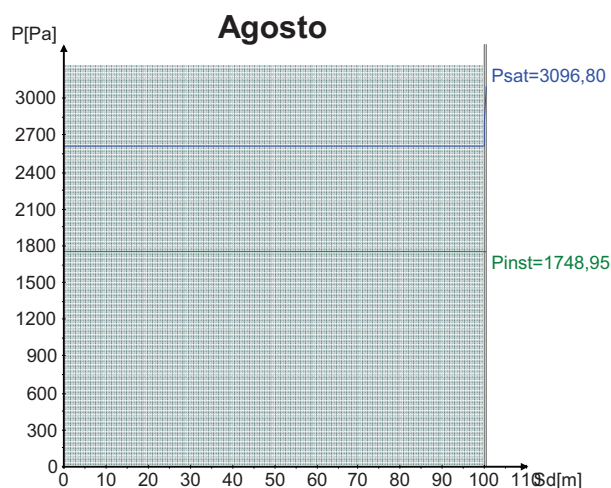
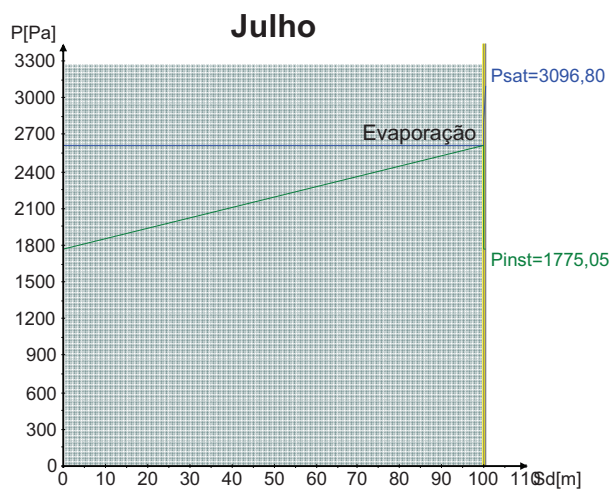
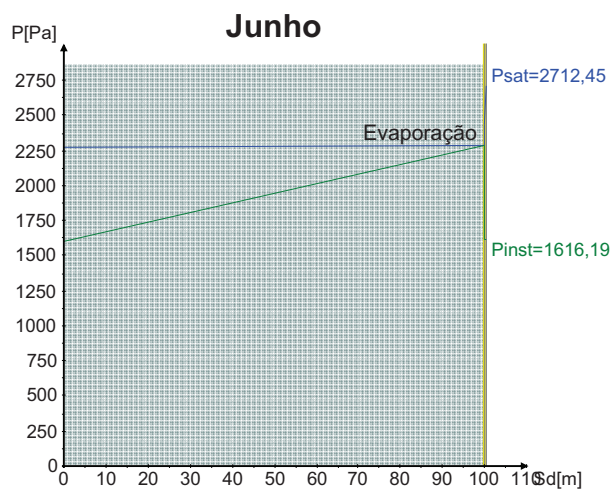
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Zinco	0,001	110	100000	
Ar	0,04	0,025	1	
Lã mineral	0,1	0,04	1	
Reboco	0,02	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	Δv [g/m³]	P_i [Pa]	$gc1$ [kg/(m²s)]	$Ma1$ [kg/m²]
Dezembro	744	10,4	78	983,264	13,4	2,9	1365,174	4,73E-07	1,2677
Janeiro	744	10,0	79	969,575	13,0	3	1364,100	4,62E-07	2,5062
Fevereiro	672	11,0	77	1010,249	14,0	2,7	1366,568	3,01E-08	2,5790
Março	744	12,5	72	1043,062	15,5	2,15	1328,288	-7,32E-08	2,3830
Abril	720	14,0	73	1166,343	17,0	1,8	1406,385	-1,15E-07	2,0847
Maió	744	16,4	71	1323,603	19,4	1	1458,068	-2,42E-07	1,4368
Junho	720	19,6	70	1595,798	22,6	0,15	1616,190	-3,94E-07	0,4157
Julho	744	21,8	68	1775,051	24,8	0	1775,051	-4,96E-07	0
Agosto	744	21,8	67	1748,948	24,8	0	1748,948	0,00E+00	0
Setembro	720	20,8	69	1694,096	23,8	0	1694,096	0,00E+00	0
Outubro	744	17,4	73	1449,988	20,4	0,8	1557,930	0,00E+00	0
Novembro	720	13,0	77	1152,657	16,0	2,1	1431,735	0,00E+00	0

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim

Tipo de elemento: Horizontal

Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar

Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$





Localização: Coimbra

1.3 Condições Interiores

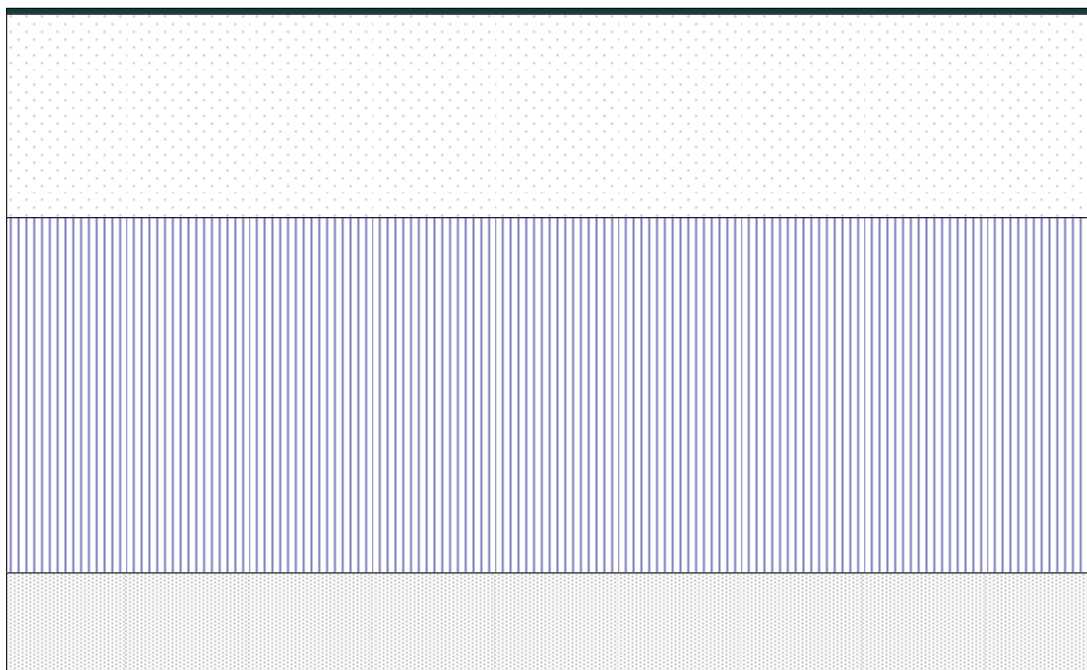
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$

Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

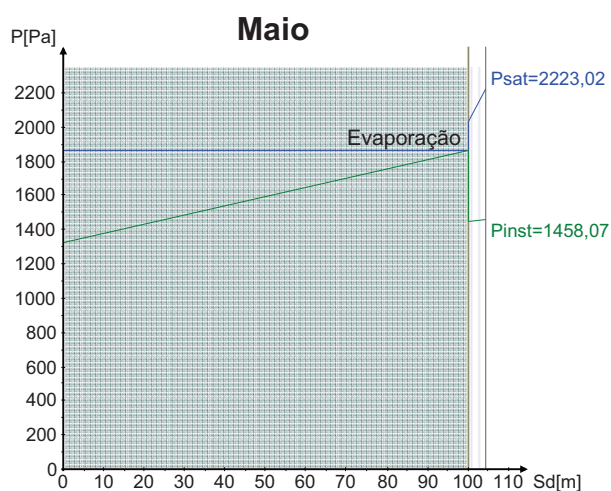
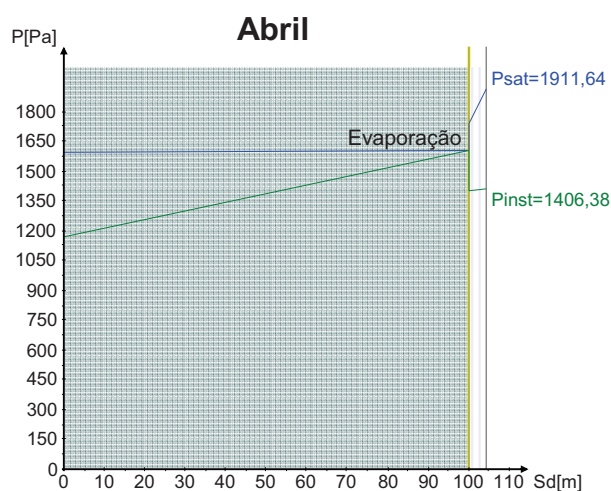
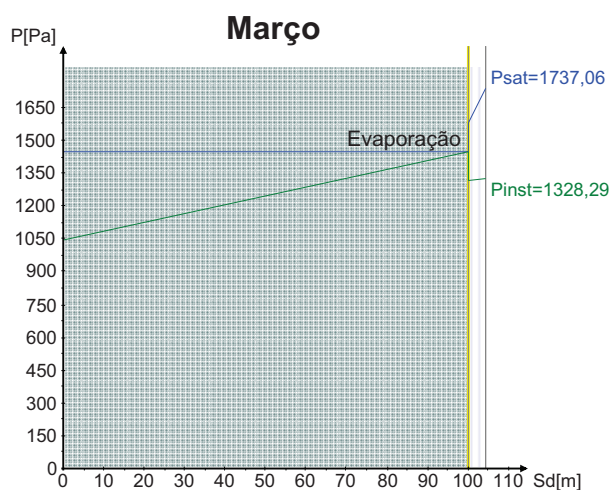
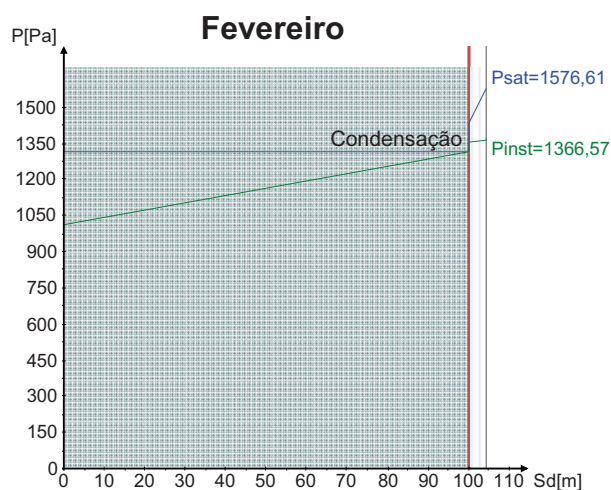
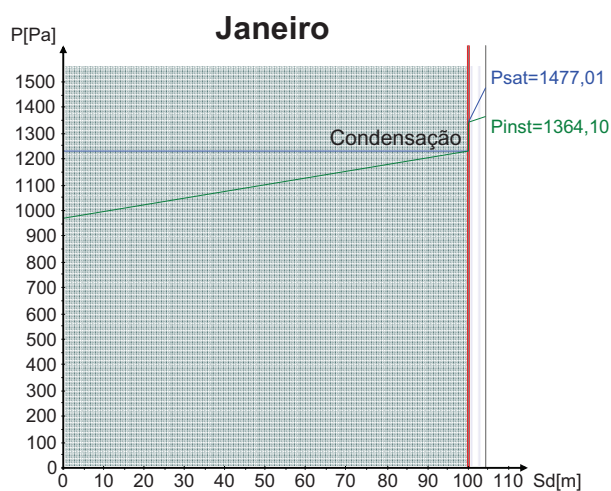
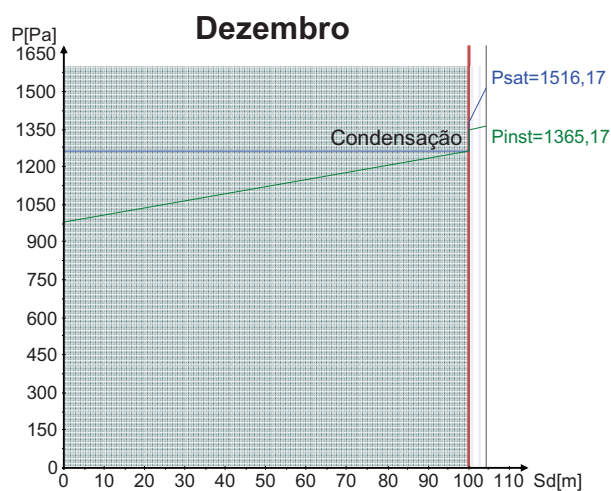
2. Camadas do Elemento Construtivo

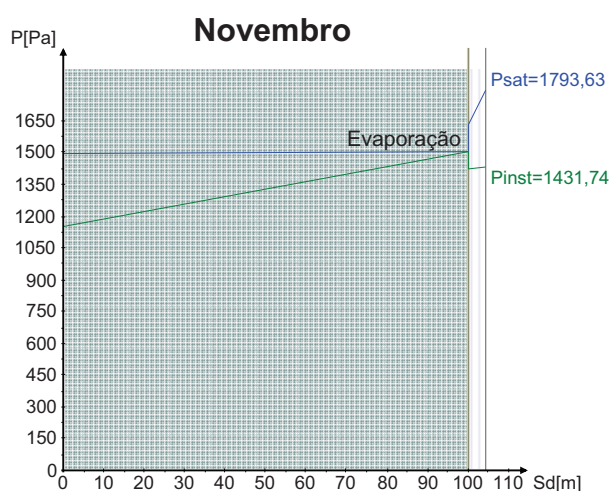
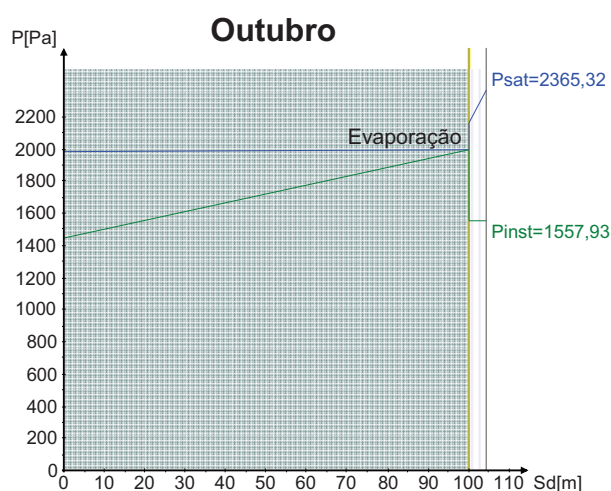
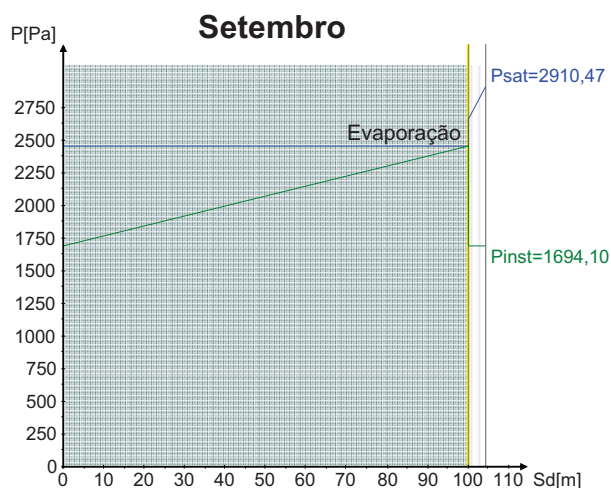
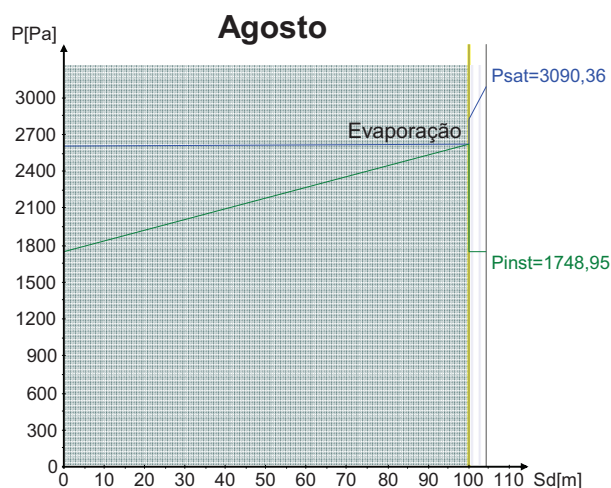
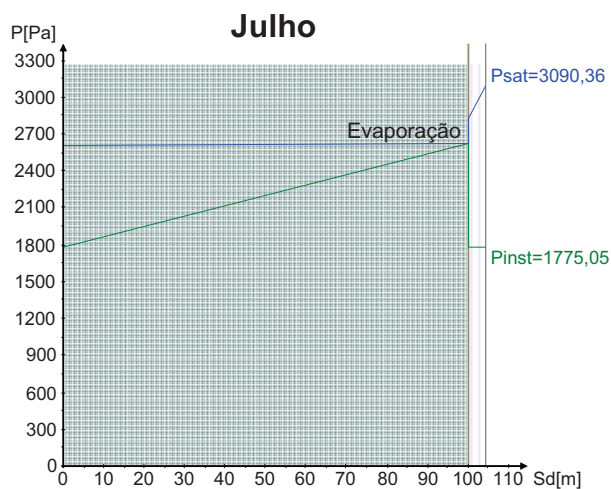
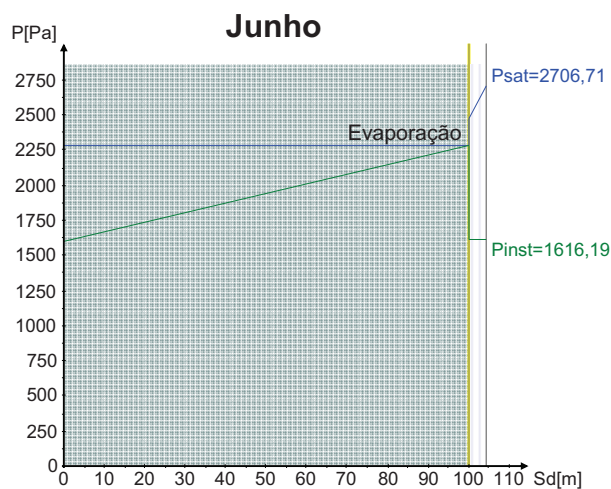
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Zinco	0,001	110	100000	
Ar	0,04	0,025	1	
Poliestireno expandido	0,07	0,04	60	
Reboco	0,02	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θ_e [°C]	ϕ_e [%]	P_e [Pa]	θ_i [°C]	Δv [g/m³]	P_i [Pa]	$gc1$ [kg/(m²s)]	$Ma1$ [kg/m²]
Dezembro	744	10,4	78	983,264	13,4	2,9	1365,174	4,03E-09	0,0108
Janeiro	744	10,0	79	969,575	13,0	3	1364,100	5,61E-07	1,5137
Fevereiro	672	11,0	77	1010,249	14,0	2,7	1366,568	1,72E-09	1,5179
Março	744	12,5	72	1043,062	15,5	2,15	1328,288	-6,38E-09	1,5008
Abril	720	14,0	73	1166,343	17,0	1,8	1406,385	-9,64E-09	1,4758
Maió	744	16,4	71	1323,603	19,4	1	1458,068	-1,96E-08	1,4234
Junho	720	19,6	70	1595,798	22,6	0,15	1616,190	-3,15E-08	1,3418
Julho	744	21,8	68	1775,051	24,8	0	1775,051	-3,95E-08	1,2359
Agosto	744	21,8	67	1748,948	24,8	0	1748,948	-4,08E-08	1,1267
Setembro	720	20,8	69	1694,096	23,8	0	1694,096	-3,60E-08	1,0333
Outubro	744	17,4	73	1449,988	20,4	0,8	1557,930	-2,06E-08	0,9782
Novembro	720	13,0	77	1152,657	16,0	2,1	1431,735	-3,78E-09	0,9684

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise, não se verificando a possibilidade da sua secagem por completo durante os meses de verão.
Deverão ser alteradas as características do elemento em estudo para que seja possível utilizá-lo sob as condições climáticas escolhidas.

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim

Tipo de elemento: Horizontal

Nº de camadas: 4

1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar

Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$





Localização: Lisboa

1.3 Condições Interiores

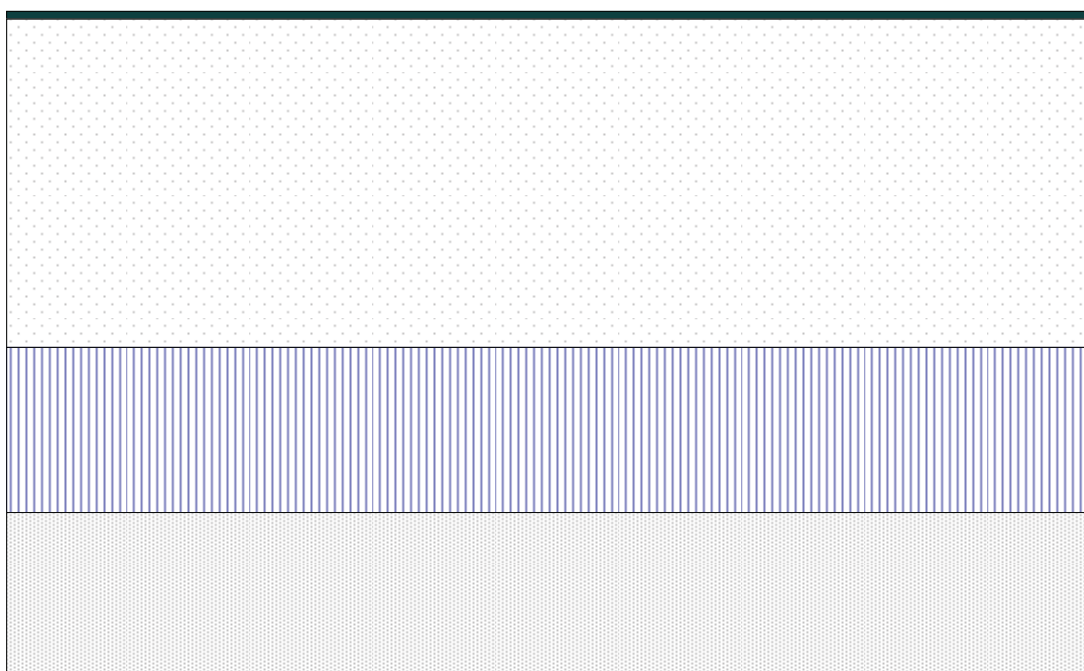
Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$

Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

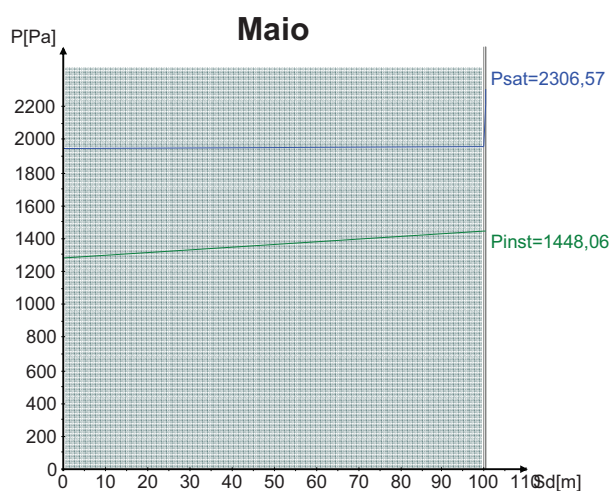
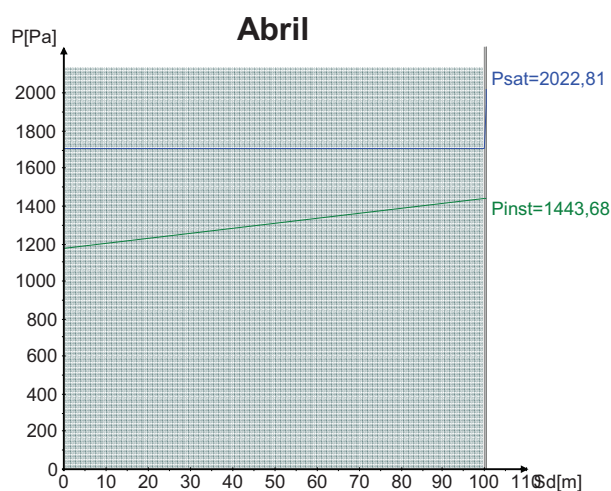
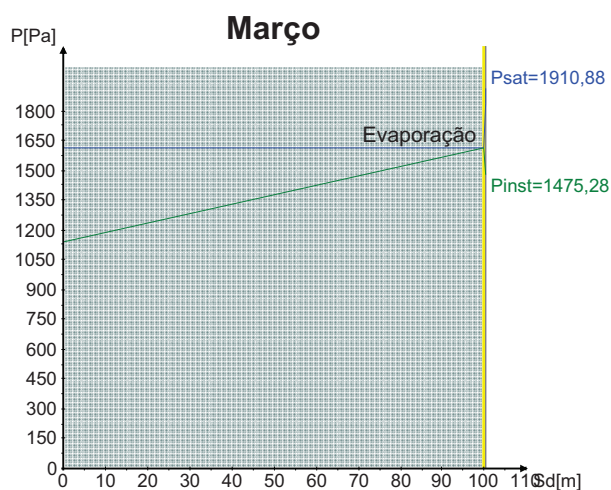
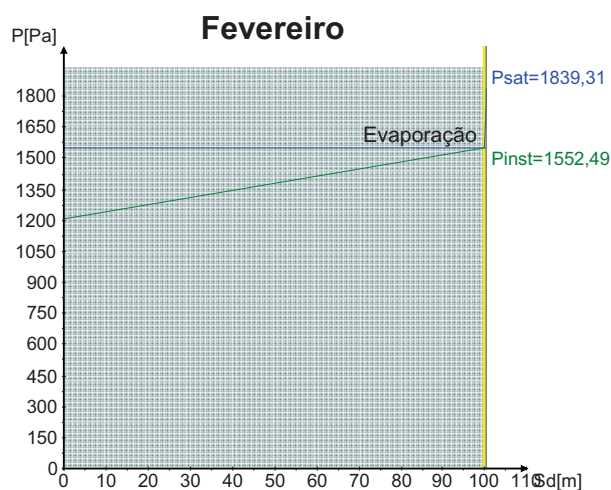
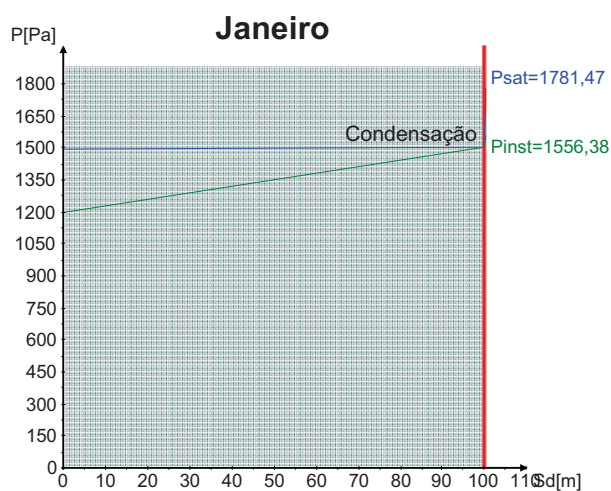
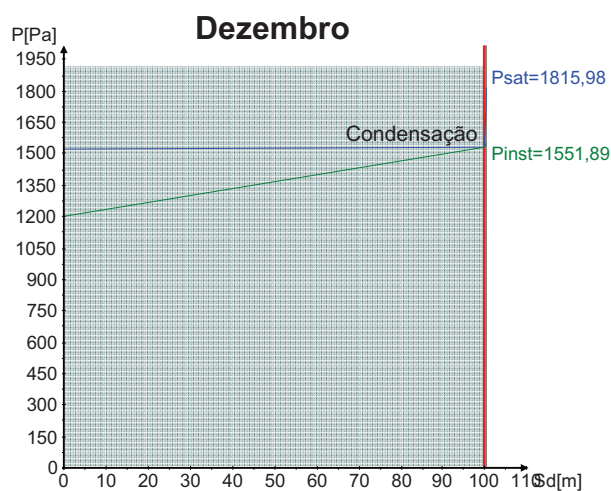
2. Camadas do Elemento Construtivo

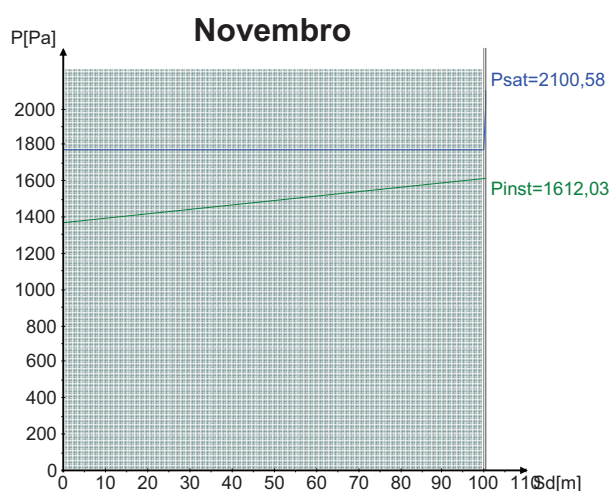
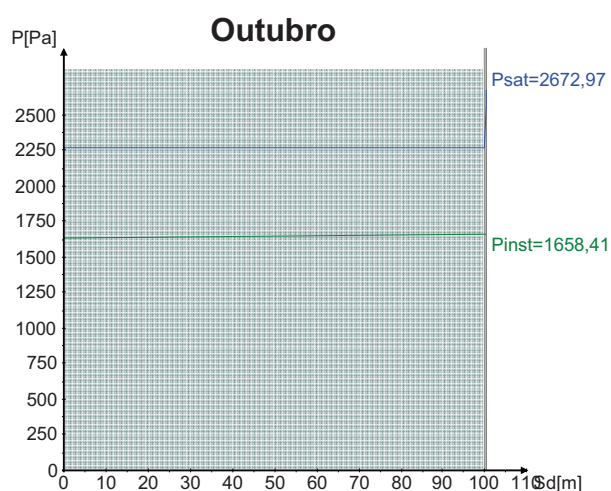
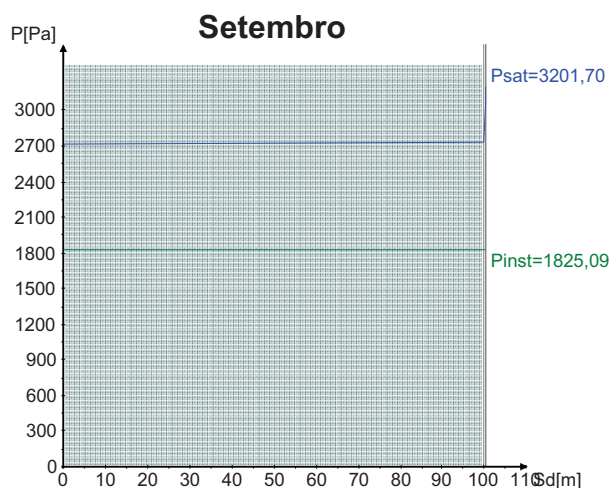
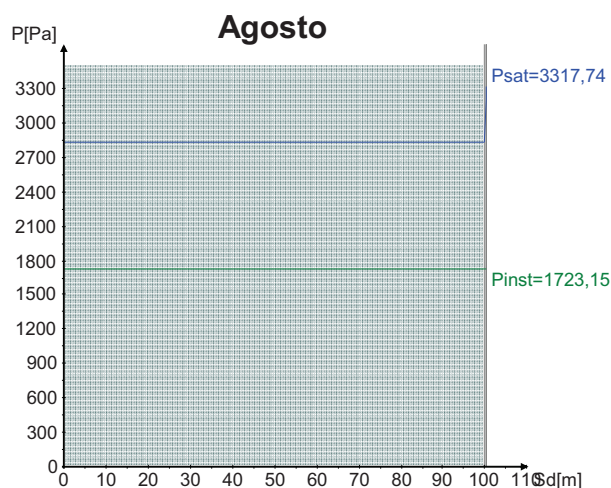
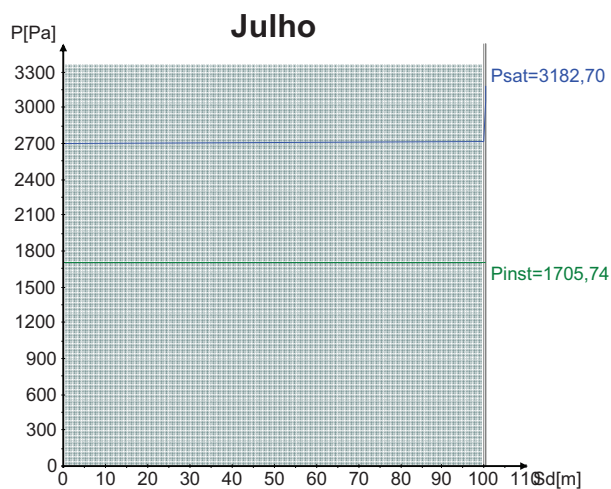
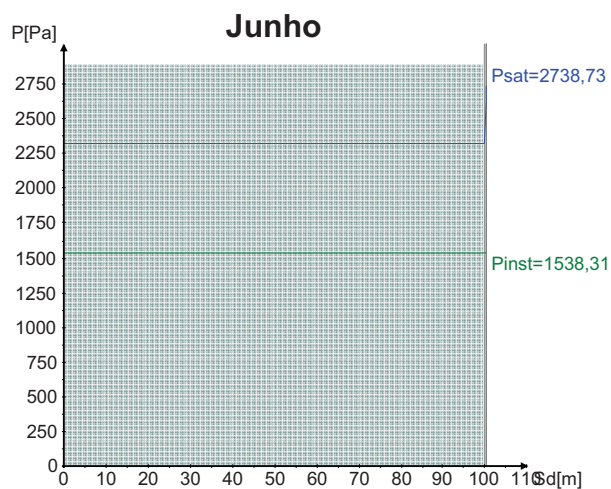
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Zinco	0,001	110	100000	
Ar	0,04	0,025	1	
Lã mineral	0,02	0,04	1	
Reboco	0,02	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]	gc1 [kg/(m²s)]	Ma1 [kg/m²]
Dezembro	744	13,3	79	1206,003	16,3	2,6	1551,889	1,50E-08	0,0402
Janeiro	744	13,0	80	1197,566	16,0	2,7	1556,381	4,13E-08	0,1509
Fevereiro	672	13,5	78	1206,367	16,5	2,6	1552,492	-4,20E-11	0,1508
Março	744	14,1	71	1141,771	17,1	2,5	1475,277	-1,07E-07	0
Abril	720	15,0	69	1176,041	18,0	2	1443,678	0,00E+00	0
Maió	744	17,1	66	1286,310	20,1	1,2	1448,056	0,00E+00	0
Junho	720	19,9	66	1532,866	22,9	0,04	1538,310	0,00E+00	0
Julho	744	22,4	63	1705,737	25,4	0	1705,737	0,00E+00	0
Agosto	744	23,1	61	1723,150	26,1	0	1723,150	0,00E+00	0
Setembro	720	22,5	67	1825,089	25,5	0	1825,089	0,00E+00	0
Outubro	744	19,5	72	1631,228	22,5	0,2	1658,408	0,00E+00	0
Novembro	720	15,6	77	1363,953	18,6	1,85	1612,030	0,00E+00	0

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão:

- Poderão existir riscos de degradação dos materiais de construção;
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada;

1. Condições da Análise

1.1 Condições gerais

Estudo de condensações de acordo com a EN 13788: Sim
Tipo de elemento: Horizontal
Nº de camadas: 4


1.2 Condições Exteriores

Tipo de exterior: Ar
Resistência superficial exterior: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Localização: Ponta Delgada

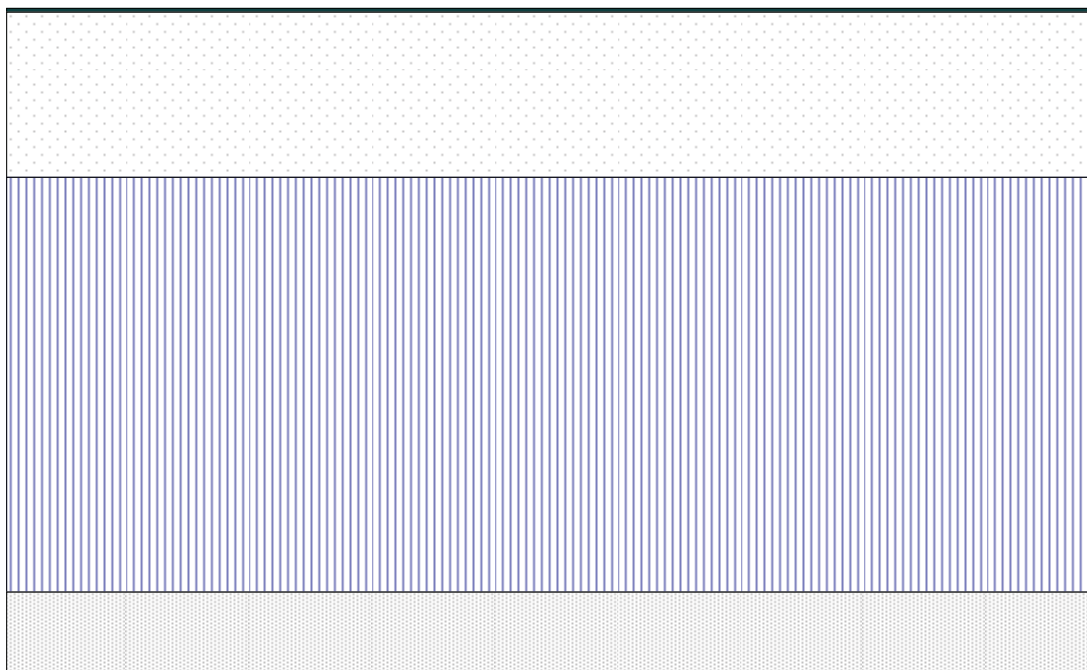
1.3 Condições Interiores

Resistência superficial interior: $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$
Condições interiores: Variáveis com os intervalos de tempo

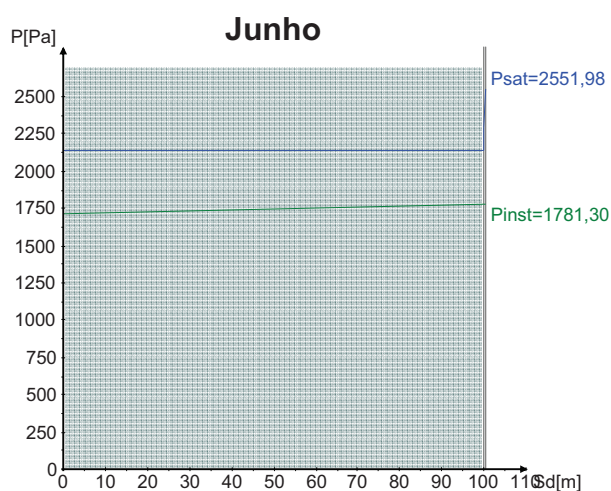
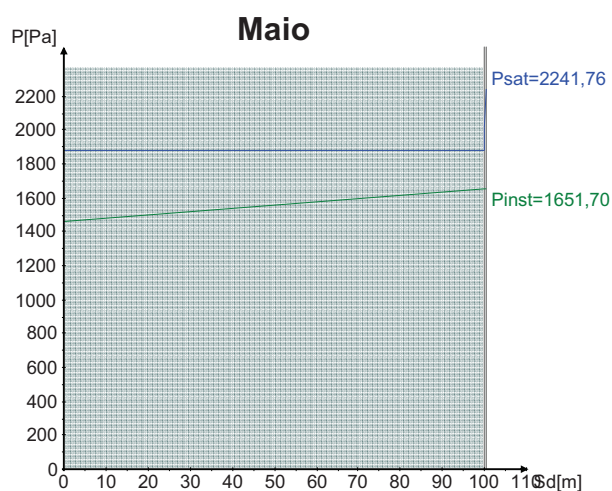
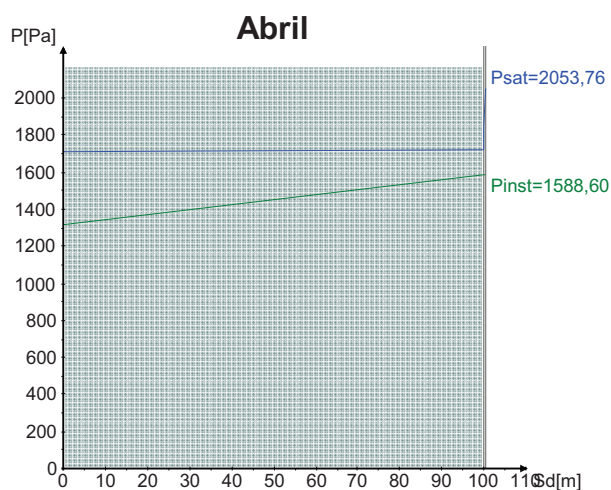
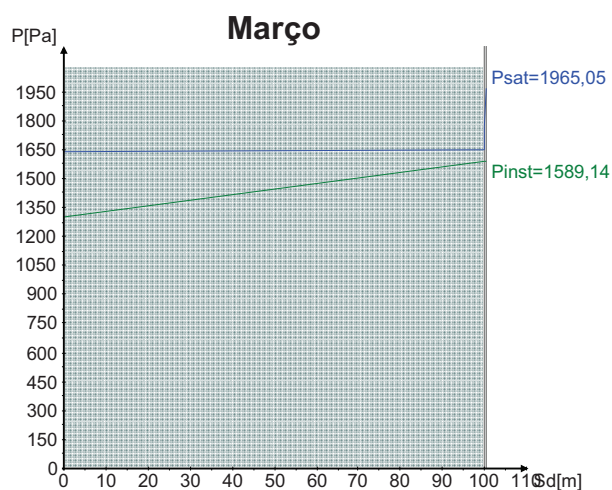
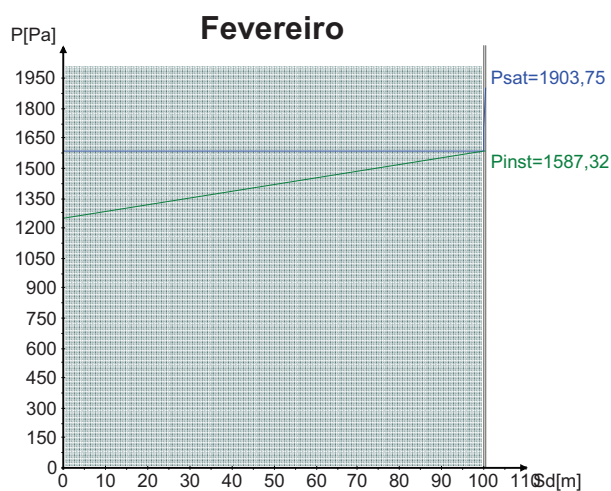
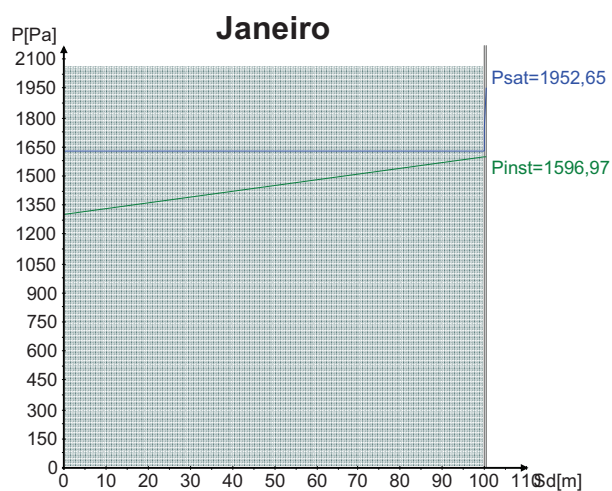
2. Camadas do Elemento Construtivo

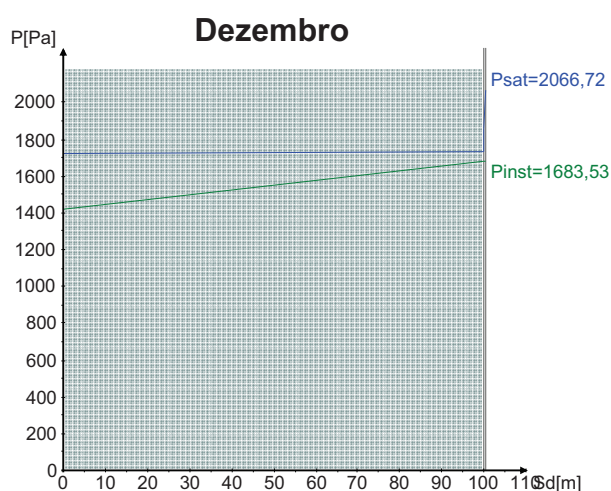
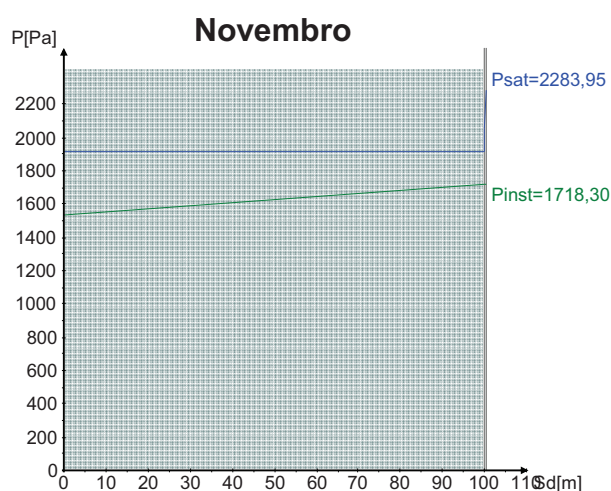
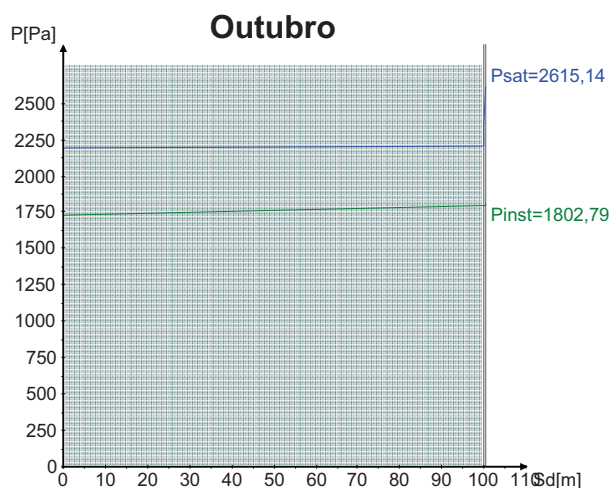
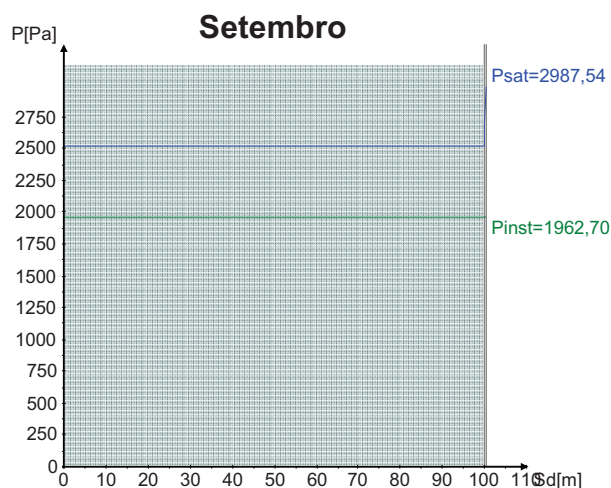
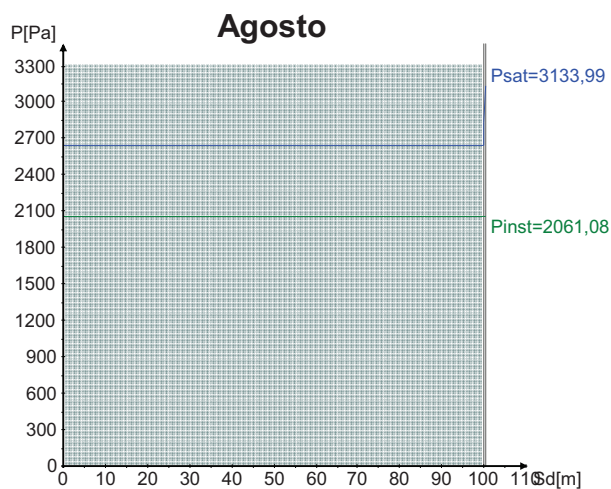
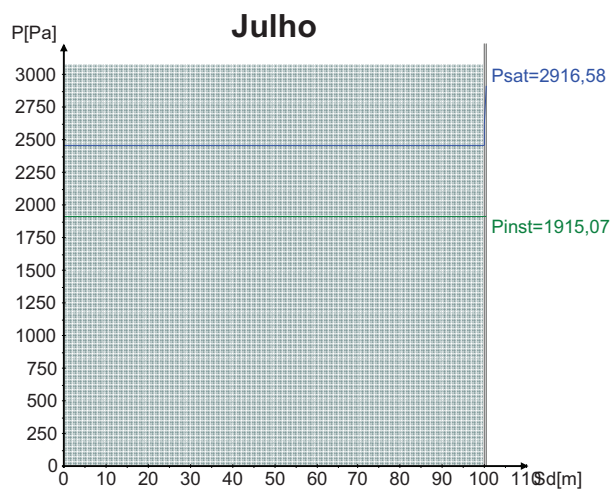
Descrição	d [m]	λ [W/(mK)]	μ	Cor/Padrão
Zinco	0,001	110	100000	
Ar	0,04	0,025	1	
Lã mineral	0,1	0,04	1	
Reboco	0,02	1	10	

3. Elemento Construtivo



4. Gráficos





5. Resultados da Análise

Intervalo	Duração [h]	θe [°C]	φe [%]	Pe [Pa]	θi [°C]	Δv [g/m³]	Pi [Pa]
Janeiro	744	14,3	80	1303,281	17,3	2,2	1596,969
Fevereiro	672	13,9	79	1254,040	16,9	2,5	1587,315
Março	744	14,4	79	1295,345	17,4	2,2	1589,135
Abril	720	15,1	77	1320,866	18,1	2	1588,595
Maiο	744	16,5	78	1463,383	19,5	1,4	1651,699
Junho	720	18,6	80	1713,556	21,6	0,5	1781,296
Julho	744	20,8	78	1915,065	23,8	0	1915,065
Agosto	744	22,0	78	2061,079	25,0	0	2061,079
Setembro	720	21,2	78	1962,698	24,2	0	1962,698
Outubro	744	19,0	79	1734,959	22,0	0,5	1802,793
Novembro	720	16,8	80	1529,792	19,8	1,4	1718,301
Dezembro	744	15,2	82	1415,711	18,2	2	1683,532

6. Conclusões

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas no elemento de construção em análise!